Diagnóstico Del Estado Operativo De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Municipio De Charalá – Santander Para Formulación De Estrategias De Mejoramiento Operacional

Heidy Valentina Salinas Peña y William Stiven Bareño Duarte

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Químico

Trabajo de Investigación

Director

Duban Fabián García Navas

Doctor en Ingeniería Química

Codirector

Edgar Mauricio Morales Valencia

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a mis papás Giovanny y Liliana, por creer en mí, por ser mi inspiración y mi motivo para seguir adelante, incluso en los días en que el camino parecía difícil. A mi hermano Juan José, por ser parte de mi vida y de cada logro que me hace feliz.

A Santi, por haber sido luz en los momentos de oscuridad y por animarme en los días difíciles. Por estar presente, aun en la distancia, demostrando que los kilómetros nunca fueron un impedimento para apoyarme y creer en mí.

A mi familia de la universidad y a mis amigos, por hacer de estos años mucho más que una etapa académica; por las historias, las risas, y los momentos que siempre llevaré conmigo.

A mi compañero de trabajo de grado y mejor amigo, por caminar conmigo hasta el final, por las dificultades superadas y por todos los momentos compartidos.

Por último, pero no menos importante, a Bella, mi compañera de cuatro patas, por acompañarme silenciosamente en tantas noches y hacer más llevaderos los días difíciles.

Heidy Valentina Salinas Peña

Dedico este logro a Dios, primeramente, por acompañarme durante este camino, darme fortaleza en los momentos difíciles y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida.

A mi madre y mis hermanas, por ser uno de los pilares fundamentales en mi vida, por su amor, sus sacrificios, su apoyo incondicional y por estar siempre presente, incluso en aquellos momentos en los que las cosas no fueron fáciles. Este logro también es suyo.

A mi novia y amiga, por su compañía, paciencia y apoyo durante este proceso. Gracias por estar a mi lado, por escucharme, motivarme y acompañarme en los momentos buenos y también en aquellos que representaron mayores dificultades y por último a mi familia y a todas las personas que estuvieron presentes durante este proceso, gracias por sus palabras, consejos, apoyo y por aportar, de una u otra manera, a que pudiera alcanzar esta meta.

William Stiven Bareño Duarte

Agradecimientos

A Dios, por acompañarnos durante este camino, darnos fortaleza en los momentos de dificultad y permitirnos culminar esta etapa tan importante de nuestra formación.

A nuestro director de trabajo de grado, Duban García, y a nuestro codirector, Mauricio Morales, por su dedicación, acompañamiento y disposición durante todo el desarrollo de este proyecto. Gracias por estar presentes, por cada orientación, cada corrección y por compartir con nosotros sus conocimientos, contribuyendo de manera significativa a la construcción de este trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos la formación, las herramientas y los espacios necesarios para crecer tanto académica como personalmente, y por permitirnos llegar a este momento como profesionales.

A todas las personas que, de una u otra manera, hicieron parte de este proceso y contribuyeron a que este trabajo pudiera hacerse realidad, nuestro más sincero agradecimiento.

Tabla de Contenido

Introducción 11

1. Objetivos 12

1.1 Objetivo General 12

1.2 Objetivos Específicos 12

2. Marco conceptual 12

2.1 Marco Normativo 12

2.2 Tratamiento de agua potable 13

2.3 Heurísticas de tratamiento 14

2.4 Normas técnicas para el tratamiento 15

2.5 Calidad del agua y laboratorio 15

3. Metodología 16

3.1 Recolección y caracterización de la información 16

3.2 Diagnóstico del estado operativo de la PTAP 17

3.3 Formulación de estrategias de mejoramiento operacional 20

4. Resultados y Análisis 20

4.1 Caracterización general de la PTAP 20

4.2 Diagnóstico general de la planta 21

4.2.1 Diagnóstico técnico 21

4.2.2 Diagnóstico operacional 22

4.2.3 Diagnóstico hidráulico 23

4.2.4 Diagnóstico de la calidad del agua 25

4.2.5 Diagnóstico administrativo y organizacional 29

4.2.6 Diagnóstico ambiental y de sostenibilidad 30

4.3 Propuestas de mejoramiento 32
4.3.1 Estrategias técnicas 32
4.3.2 Estrategias operativas 35
4.3.3 Estrategias hidráulicas 37
4.3.4 Estrategias de calidad del agua 38
4.3.5 Estrategias administrativas 40
4.3.6 Estrategias ambientales y de sostenibilidad 42
5. Conclusiones 45
6. Recomendaciones 46
Referencias bibliográficas 47
Apéndices 49

Lista de Tablas

Tabla 1. Tiempos de retención hidráulico..... 24

Tabla 2. Alternativas extracción de lodos..... 33

Tabla 3. Variables para el control de calidad del agua durante el proceso..... 38

Tabla 4. Alternativas para el control de aguas de lavado 43

Tabla 5. Indicadores para el uso eficiente del agua 44

Lista de Figuras

Figura 1. Comportamiento histórico del agua cruda: a) Turbiedad y b) pH 26

Figura 2. Comportamiento histórico del agua tratada: a) Turbiedad y b) Remoción turbiedad ... 28

Lista de Apéndices

Apéndice A. Principal normativa colombiana para el suministro de agua potable 49

Apéndice B. Características de los principales tipos de planta de tratamiento de agua potable 50

Apéndice C. Heurísticas para el tratamiento de agua potable 52

Apéndice D. Información recopilada para el diagnóstico de la PTAP Charalá 53

Apéndice E. Encuesta aplicada al personal 54

Apéndice F. Informes de Inspección Sanitaria Gobernación 2026 57

Apéndice G. Sistematización y análisis de los registros de calidad del agua 64

Apéndice H. Descripción de la PTAP Charalá 65

Apéndice I. Registros fotográficos 67

Apéndice J. Planos de la PTAP 68

Apéndice K. Resumen del diagnóstico de la PTAP Charalá 70

Apéndice L. Graficas del comportamiento de los parámetros de calidad del agua 75

Apéndice M. Resumen de la formulación de estrategias para la PTAP Charalá 78

Resumen

Título: DIAGNÓSTICO DEL ESTADO OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE CHARALÁ – SANTANDER PARA FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO OPERACIONAL.

Autor(es): Heidy Valentina Salinas Peña, William Stiven Bareño Duarte

Palabras clave: Planta de Tratamiento de Agua Potable, diagnóstico, potabilización, calidad del agua, operación, gestión ambiental, sostenibilidad.

Descripción: Las plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) desempeñan un papel fundamental dentro de los sistemas de abastecimiento, debido a que permiten transformar el agua proveniente de las fuentes de captación mediante diferentes procesos físicos, químicos e hidráulicos, con el propósito de obtener agua en condiciones aptas para el consumo humano.

El presente trabajo desarrolla un diagnóstico integral de la PTAP del municipio de Charalá, considerando los componentes técnico, operacional, hidráulico, de calidad del agua, administrativo y organizacional, y ambiental y de sostenibilidad. Este análisis se realizó tomando como referencia la normativa aplicable al sector de agua potable. Allí se identificaron diferentes hallazgos relacionados con la estandarización de los procedimientos, dosificación de productos químicos, control de los procesos, manejo y extracción de lodos, gestión de residuos, seguimiento de la calidad del agua y uso eficiente del recurso hídrico. Finalmente, se formularon estrategias de mejoramiento organizadas de acuerdo con los componentes evaluados, considerando las necesidades identificadas en la PTAP y los criterios establecidos en la normativa aplicable.

*Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Duban Fabián García Navas. Doctor en Ingeniería Química. Codirector: Edgar Mauricio Morales Valencia. Doctor en Ingeniería Química.

Abstract

Title: ASSESSMENT OF THE OPERATIONAL STATUS OF THE DRINKING WATER TREATMENT PLANT IN THE MUNICIPALITY OF CHARALÁ, SANTANDER, FOR THE FORMULATION OF OPERATIONAL IMPROVEMENT STRATEGIES.

Author(s): Heidy Valentina Salinas Peña, William Stiven Bareño Duarte

Keywords: Drinking Water Treatment Plant, assessment, potabilization, water quality, operation, environmental management, sustainability.

Description: Drinking Water Treatment Plants (DWTPs) play a fundamental role in water supply systems by transforming water from source intakes through various physical, chemical, and hydraulic processes to produce water suitable for human consumption.

This study presents a comprehensive assessment of the DWTP, covering technical, operational, structural, and hydraulic components, as well as water quality, administrative and organizational aspects, and environmental and sustainability factors. The analysis was conducted based on the regulations applicable to the drinking water sector. The results revealed various findings regarding procedure standardization, chemical dosing, process control, sludge handling and removal, waste management, water quality monitoring, and the efficient use of water resources. Finally, improvement strategies were formulated—organized according to the evaluated components—taking into account the needs identified at the DWTP and the criteria established in the applicable regulations.

*Degree Work

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Thesis Advisor: Duban Fabián García Navas, PhD in Chemical Engineering. Thesis Co-Advisor: Edgar Mauricio Morales Valencia, PhD in Chemical Engineering.

Introducción

En el municipio de Charalá (Santander), la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) opera bajo un sistema convencional que incluye coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Esta planta permite abastecer la cabecera municipal, surtiendo de agua tratada a los habitantes de todos los barrios del municipio, incluidos aquellos dispuestos en las periferias. Aunque no se han reportado eventos asociados a la salubridad y la calidad del agua tratada, si se tiene conocimiento de condiciones operacionales anormales. Asimismo, no se cuenta con un diagnóstico actualizado que permita conocer con claridad y exactitud el estado de funcionamiento de sus unidades ni las posibles desviaciones frente a los lineamientos de las normas técnicas como el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y/o regulaciones como la Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de Ambiente, 2007; Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

Esta situación puede estar limitando el desempeño del sistema y la eficiencia operativa de la planta, afectando los consumos energéticos y de materia prima, así como la capacidad de despacho, lo cual resulta relevante considerando que, existen zonas en Santander con afectaciones importantes en la disponibilidad y calidad del agua entregada (Ministerio de Salud y Protección Social, 2023). En este contexto, se plantea realizar un diagnóstico del estado operativo de la PTAP de Charalá mediante la recolección y análisis de la información proveniente de observaciones en campo, datos históricos, análisis técnicos y conceptos derivados de informes institucionales y consultorías, con base en normas y heurísticas como criterios de evaluación. Adicionalmente, a partir de este diagnóstico se pretende formular una serie de estrategias de mejoramiento

operacional que ayuden a los coordinadores y operadores de la planta mejorar las características de desempeño de la PTAP.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diagnosticar el estado operativo de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Charalá – Santander, con el fin de formular estrategias de mejoramiento operacional.

1.2 Objetivos Específicos

- Recopilar y consolidar la información técnica y operativa disponible de la PTAP, relacionada con la configuración y operación de la planta, con el propósito de caracterizar su funcionamiento.
- Identificar el estado actual de la operación de la PTAP a partir del análisis de los hallazgos obtenidos durante la revisión documental y las visitas técnicas.
- Formular estrategias de mejora a partir del análisis de las condiciones operativas identificadas, que contribuyan al fortalecimiento del funcionamiento de la planta y sirvan como base para la toma de decisiones operativas.

2. Marco conceptual

2.1 Marco Normativo

En Colombia, el funcionamiento y control de calidad de las PTAPs se encuentra regulado por un conjunto de normas técnicas, sanitarias y ambientales, resumidas en el Apéndice A. Para el desarrollo del presente trabajo se consideran principalmente las normas relacionadas con la calidad

del agua para consumo humano, las condiciones de operación e inspección sanitaria y los requisitos técnicos aplicables a las plantas de tratamiento.

El Decreto 1575 de 2007, establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano y se determinan responsabilidades relacionadas con el control y vigilancia de la calidad del agua (Ministerio de la Protección Social, 2007). Asimismo, la Resolución 2115 de 2007 establece las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua destinada al consumo humano (Ministerio de Ambiente, 2007).

Para la inspección sanitaria de los sistemas de suministro de agua potable se considera la Resolución 082 de 2009, mientras que la Resolución 4716 de 2010 reglamenta aspectos relacionados con los mapas de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, orientados a la identificación de factores que pueden afectar la calidad del recurso dentro del sistema de abastecimiento (Ministerio de la Protección Social, 2009, 2010). Para el componente ambiental y el uso del recurso hídrico también se consideran el Decreto 1076 de 2015 y la Resolución 0631 de 2015, de acuerdo con su ámbito de aplicación, así como la Ley 142 de 1994, relacionada con el régimen de los servicios públicos domiciliarios (Departamento Administrativo de la Función Pública, 1994; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015a, 2015b).

2.2 Tratamiento de agua potable

Los sistemas de tratamiento de agua potable se clasifican según la calidad del agua cruda, la tecnología empleada y el nivel de complejidad del sistema (ver Apéndice B). De acuerdo con el RAS, las principales tipologías son el sistema convencional, la filtración directa, los sistemas simplificados o compactos y los sistemas de pretratamiento y desinfección. Para este trabajo, la planta cuenta con un sistema convencional que está compuesto por las etapas de captación,

coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y almacenamiento (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

La captación permite derivar el caudal requerido desde la fuente hacia el sistema de tratamiento, incorporando elementos para la regulación del caudal y la retención de sólidos. La coagulación corresponde a la adición de productos químicos para desestabilizar las partículas presentes en el agua, mientras que la floculación favorece su aglomeración mediante mezcla lenta para formar flóculos. Posteriormente, en la sedimentación, los flóculos son separados principalmente por acción de la gravedad. La filtración permite retener las partículas remanentes mediante un medio granular, y requiere operaciones periódicas de lavado para recuperar su capacidad de tratamiento. Finalmente, la desinfección permite inactivar microorganismos patógenos mediante la aplicación de un agente desinfectante, principalmente cloro, antes del almacenamiento y distribución del agua tratada. Las condiciones de operación de estas unidades dependen de las características del agua y de la configuración de cada sistema y los detalles del comportamiento típico pueden ser consultados en el Apéndice B (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

2.3 Heurísticas de tratamiento

La selección del esquema de tratamiento se basa en la calidad del agua cruda y el nivel de complejidad del sistema. El RAS establece criterios para orientar la decisión, considerando la turbiedad, la carga microbiológica, la presencia de contaminantes específicos y la capacidad técnica de la entidad prestadora (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021). El Apéndice C resume las principales heurísticas. Además, el nivel de complejidad del sistema (bajo, medio, alto) definido por la población atendida y la capacidad técnica de la entidad prestadora determina los requisitos mínimos de diseño, operación y control de calidad. En zonas rurales o de baja

capacidad, se recomiendan tecnologías simplificadas que aseguren sostenibilidad (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015; Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

2.4 Normas técnicas para el tratamiento

En Colombia, los requisitos técnicos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las PTAP están establecidos en el RAS, adoptado mediante la Resolución 0330 de 2017 y modificado por la Resolución 0799 de 2021. La versión vigente corresponde al documento compilatorio de estas resoluciones y define los parámetros de diseño para cada etapa del tratamiento y establece los caudales de diseño, los criterios hidráulicos (tiempos de retención, gradientes de velocidad, cargas superficiales), la selección de tecnologías según la calidad del agua cruda, los requerimientos para la caracterización y tratabilidad del agua, y los lineamientos para la gestión de subproductos como lodos. Adicionalmente, clasifica los sistemas según el nivel de complejidad (bajo, medio, medio-alto, alto), lo que determina los requisitos mínimos aplicables a cada caso (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021). Por otro lado, las Guías para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) constituyen un referente internacional para la evaluación de la calidad del agua destinada al consumo humano (Organización Mundial de la Salud, 2018).

2.5 Calidad del agua y laboratorio

El sistema de protección y control de la calidad del agua para consumo humano en Colombia se fundamenta en el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007, los cuales establecen los criterios, parámetros y métodos para evaluar la calidad del agua potable (Ministerio de Ambiente, 2007; Ministerio de la Protección Social, 2007):

- **Valores máximos aceptables:** turbiedad ≤2 UNT, color aparente ≤15 UPC, pH 6,5–9,0, cloro residual libre 0,3–2,0 mg/L, aluminio residual ≤0,2 mg/L.

- **Parámetros microbiológicos:** ausencia de *Escherichia coli* y coliformes en 100 cm^3.
- **Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA):** ponderación del incumplimiento de características, que clasifica el riesgo en: sin riesgo, bajo, medio, alto, inviable.
- **Control operativo:** frecuencias de muestreo según la población (diario, semanal, mensual).
- **Vigilancia sanitaria (autoridades de salud):** muestreos periódicos en red de distribución con frecuencias definidas por población y mapa de riesgo.

3. Metodología

3.1 Recolección y caracterización de la información

En la primera fase del proyecto se recopiló información técnica, operativa, administrativa e histórica disponible de la PTAP, con el fin de conocer las características generales de la planta, su configuración, las condiciones de operación y las practicas implementadas durante el tratamiento. Para ello se usaron diversos mecanismos como la realización de entrevistas, visitas técnicas y la revisión de documentación y datos operacionales. Además, para facilitar el diagnóstico y la formulación de estrategias de mejora se establecieron seis componentes de evaluación: Técnico, Operacional, Estructural e Hidráulico, Calidad del Agua, Administrativo y Organizacional, y Ambiental y de Sostenibilidad. Cada uno de estos componentes fue analizado de manera que se pudiera obtener una visión global del estado de la PTAP. Las actividades, mecanismos, instrumentos y resultados de la recolección de información se presentan en el Apéndice D.

En la visita técnica (17 de junio de 2026) se inspeccionaron las unidades de captación, aducción, desarenador, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento, laboratorio, cuarto de cloración, sistemas de dosificadores y demás instalaciones. Se verificaron aspectos como el estado físico de las estructuras, el funcionamiento de los equipos, las condiciones de operación y el estado general de la planta. Adicionalmente, se realizó un registro fotográfico como soporte del diagnóstico técnico. También se realizó una entrevista al coordinador de la PTAP (Carlos Valderrama) estructurada en los seis componentes del diagnóstico (ver Apéndice E).

Adicionalmente, se obtuvieron los informes de inspección sanitaria elaborados por la Gobernación de Santander correspondientes a los últimos tres años, en los cuales se presenta la evaluación del Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano de la Persona Prestadora (IRABApp) (ver Apéndice F), así como planos, memorias de diseño y registros históricos de calidad del agua y operación correspondientes a abril, mayo y junio de 2026. También se realizó la revisión de la normativa aplicable, principalmente el RAS, la Resolución 2115 de 2007 y la Resolución 082 de 2009, como referentes para la evaluación de las condiciones de la planta.

3.2 Diagnóstico del estado operativo de la PTAP

Para el diagnóstico técnico y operacional se evaluaron las unidades de la planta y se analizaron aspectos relacionados con su configuración, estado físico, y funcionamiento. En particular, se indagó sobre la forma en la que se desarrolla el proceso de tratamiento del agua y las actividades ejecutadas por el personal operativo, analizando aspectos como la dosificación de productos químicos, el seguimiento de variables operativas, la realización de pruebas de jarras y el control en las diferentes unidades del proceso. La evaluación se efectuó tomando como

referencia criterios establecidos en la Res. 082 de 2009 para inspecciones sanitarias a los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social, 2009).

El diagnóstico hidráulico se desarrolló mediante la inspección visual de las estructuras y la evaluación del comportamiento hidráulico de las unidades. Se verificó el estado de conservación de las estructuras, la presencia de fisuras, filtraciones, reboses, acumulación de sedimentos, condiciones de circulación del flujo y funcionamiento de los elementos hidráulicos. La evaluación se realiza a partir de la información suministrada por el personal de operación, los planos disponibles y los cálculos hidráulicos para caudales más probables de operación (i.e., 20, 24, 25, 27 y 28 L/s). Las ecuaciones clave para el diagnóstico hidráulico se muestran a continuación:

Velocidad interna de tubería: $$v = \frac{Q}{A}$$ **Ecuación 1**

Régimen de flujo: $$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$ **Ecuación 2**

Tiempo de retención hidráulico: $$t_{RH} = \frac{V}{Q}$$ **Ecuación 3**

En las Ecuaciones 1-3 se requieren las propiedades del agua (i.e., densidad ρ y viscosidad μ) a condiciones típicas (i.e., 25°C), las características de la tubería (i.e. diámetro D y área A) o de los tanques (i.e., volumen V) y las características de diseño como el caudal de agua tratada (Q). Por su parte, para realizar la estimación preliminar de la cantidad de sólidos de la PTAP de Charalá, la U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2009) estableció un factor de 1,5 mg/L de sólidos suspendidos totales (SST) por cada unidad de turbiedad (UNT), de acuerdo con la Ecuación 4.

$$SST = 1{,}5T$$ **Ecuación 4**

donde T corresponde a la turbiedad en UNT y SST se expresa en mg/L. Esta relación se utiliza únicamente como referencia para realizar una aproximación, debido a que no corresponde a mediciones de SST realizadas en la PTAP de Charalá.

La evaluación de calidad del agua se hizo mediante el análisis de los registros entre abril y junio del presente año (Ver apéndice G), analizando parámetros fisicoquímicos y el comportamiento del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), verificando el cumplimiento de los valores permisibles para agua destinada al consumo humano (Ministerio de la Protección Social, 2007). Estos criterios permiten clasificar la fuente como aceptable, regular, deficiente o muy deficiente. Para turbiedad, por ejemplo, se consideran valores menores de 2 UNT como aceptables, entre 2 y 40 UNT como regulares, entre 40 y 150 UNT como deficientes y valores iguales o superiores a 150 UNT como muy deficientes. Para el pH, el intervalo de referencia correspondiente a una fuente aceptable es de 6,0 a 8,5.

El diagnóstico administrativo y organizacional se llevó a cabo por medio de la revisión de la documentación suministrada por la empresa y la información obtenida durante las entrevistas. Se evaluó por medio del indicador de Buenas Prácticas Sanitarias (BPS), la existencia y actualización de manuales de operación, registros operacionales, planes de contingencia, y demás herramientas administrativas (Ministerio de la Protección Social, 2009). También se consideró la forma en que se toman las decisiones, la capacitación del personal, el seguimiento a la gestión, la disponibilidad de recursos y las condiciones de seguridad e higiene laboral.

Finalmente, para el diagnóstico ambiental y de sostenibilidad se evaluaron aspectos relacionados con la gestión de desechos generados durante el tratamiento, tales como lodos y aguas de lavado, la gestión y uso eficiente del recurso hídrico y la existencia de instrumentos de gestión ambiental, como el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA), y el cumplimiento de los permisos ambientales aplicables al sistema de abastecimiento. Como referencia se tuvieron en cuenta los criterios establecidos en las Resolución 082 de 2009 para las buenas prácticas sanitarias.

3.3 Formulación de estrategias de mejoramiento operacional

A partir de los resultados obtenidos en los seis diagnósticos, se identificaron las principales condiciones que afectan el funcionamiento, operación y gestión de la PTAP. Con base en estos hallazgos se formularon estrategias de mejoramiento orientadas a atender las situaciones identificadas y fortalecer las condiciones actuales de la planta. Para la formulación de las estrategias se tomó como referencia la información obtenida durante la visita técnica, las entrevistas realizadas, la documentación suministrada por la entidad operadora, los resultados de los diagnósticos y los criterios establecidos en la normativa aplicable. De esta manera, las propuestas fueron planteadas considerando las condiciones reales de la PTAP y las necesidades identificadas en cada componente evaluado, procurando que las propuestas fueran técnicamente coherentes con las características de la planta y aplicables a sus condiciones de operación.

4. Resultados y Análisis

4.1 Caracterización general de la PTAP

La PTAP de Charalá está diseñada para tratar un caudal de 25 L/s y abastecer a una población cercana a los 13.000 habitantes (la descripción detallada del proceso se encuentra en el Apéndice H). En síntesis, el tren de potabilización inicia con la captación y conducción del agua cruda hacia un desarenador para remover los sólidos sedimentables gruesos; posteriormente, continúa con las etapas de coagulación y floculación (en unidades horizontales y verticales), la clarificación en un sedimentador trapezoidal y el paso por trenes de filtración profunda de lecho mixto (gravilla, arena y carbón). Finalmente, el agua se somete a desinfección con cloro para inactivar microorganismos antes de ser conducida al tanque de almacenamiento para su distribución. Un registro fotográfico puede consultarse en el Apéndice I, además, los planos de la planta se muestran en el Apéndice J.

4.2 Diagnóstico general de la planta

Los diagnósticos se desarrollaron en las seis categorías definidas para la evaluación de la PTAP, cuyos hallazgos se presentan y analizan en las secciones siguientes. Como complemento, en el Apéndice K se consolidan todos los hallazgos identificados en cada categoría, permitiendo una visión integral del estado de la planta.

4.2.1 Diagnóstico técnico

Como condición relevante, la modificación realizada en 2023 no fue culminada en su totalidad, por lo que la PTAP opera como un sistema híbrido que combina componentes convencionales y compactos. En la etapa de clarificación, se evidencia una dosificación deficiente e inconstante de coagulantes y floculantes, un mezclado heterogéneo y la falta de un programa ajustado a las variaciones del agua cruda. Además, la unidad de sedimentación carece de un sistema específico para la extracción de lodos, limitándose a descargas por purga.

En la filtración, el paso de flóculos y material suspendido hacia el agua filtrada, sumado a la reducción del caudal por posibles obstrucciones, sugiere un mal funcionamiento de esta etapa, por lo que se recomienda verificar si la causa raíz es el desgaste del medio filtrante. En el proceso de desinfección, el dosificador de cloro gaseoso se encuentra fuera de servicio; aunque se mantiene la aplicación de cloro granulado como medida alternativa, esta práctica reduce el control sobre la dosis y aumenta la dependencia de la gestión manual. Adicionalmente, se reporta deterioro en componentes internos de válvulas (presencia de óxido y fracturas), atribuible al cumplimiento de su vida útil o a una selección inadecuada del material.

Finalmente, la gestión del mantenimiento es predominantemente correctiva, interviniendo los equipos auxiliares una vez ocurre la falla. A pesar de esto, se destaca la capacidad de respuesta

del personal operativo para ejecutar reparaciones e improvisar reconstrucciones internas sin depender de asistencia técnica externa.

4.2.2 Diagnóstico operacional

4.2.2.1 Desempeño operativo

La PTAP opera continuamente en turnos rotativos mediante monitoreos cada dos horas para adaptarse a la variabilidad del agua cruda (turbiedad, color, pH y alcalinidad). No obstante, el proceso depende excesivamente de la experiencia del personal debido a la falta de manuales de operación y al manejo de registros únicamente en medio físico. Esta ausencia de sistematización contraviene la Resolución 082 de 2009 e impide estandarizar actividades o aprovechar la información histórica para la toma de decisiones (Ministerio de la Protección Social, 2009).

Adicionalmente, la falta de medición de nivel en los tanques de almacenamiento dificulta la gestión de la distribución y los planes de contingencia. En la clarificación, la presencia de micro-flóculos en los sedimentadores refleja fallas en la coagulación y sedimentación. Aunque la dosis de coagulante se ajusta cada hora con pruebas de jarras, su efectividad depende del criterio individual.

Finalmente, la inoperatividad del dosificador de cloro gaseoso obliga a aplicar cloro granulado de forma manual, incrementando la vulnerabilidad del proceso. Para garantizar la seguridad operacional conforme al IRABApp y la Res. 082/2009, es indispensable contar con equipos automáticos para el control del cloro y estandarizar formalmente las frecuencias de ensayo, los rangos de operación y las metodologías de dosificación (Ministerio de la Protección Social, 2009).

4.2.2.2 Flujo de trabajo

Los dos operadores por turno, organizados para mantener la operación durante las 24 horas del día, son responsables del seguimiento de las condiciones del proceso, la realización de controles de calidad del agua y la atención a las variaciones que puedan presentarse. Adicionalmente, los operadores cuentan con acompañamiento y supervisión para situaciones que sean de mayor complejidad. Uno de los principales hallazgos es la importancia que tiene la experiencia práctica del coordinador para el funcionamiento cotidiano de la PTAP. En efecto, se evidenció que los operadores cuentan con formación relacionada en potabilización, pero existe una gran diferencia entre los conocimientos adquiridos mediante capacitación y las situaciones que deben enfrentar durante la operación de la planta.

Otro aspecto identificado en el seguimiento entre turnos es el manejo de la información, ya que los formatos se conservan únicamente en físico, limitando su sistematización y el aprovechamiento de la información histórica para la toma de decisiones. Por otra parte, se identificó que las actividades de mantenimiento se encuentran relacionadas con las necesidades que surgen durante la operación diaria, especialmente a las relacionadas con acumulación de sólidos, limpieza de unidades, funcionamiento de equipos y conservación de las condiciones necesarias para mantener el tratamiento del agua. Esto indica que no se cuenta con un procedimiento formal que determine las actividades, frecuencias, responsables y mecanismos de seguimiento y mantenimiento.

4.2.3 Diagnóstico hidráulico

La aducción a la PTAP está conformada por una tubería de 6 in de diámetro en PVC, con una longitud aproximada de 80 m y con diferencia de nivel menor entre sus extremos (i.e., ~0,5 m). La velocidad del agua (a partir de la Ecuación 1) es de 1,1–1,5 m/s y se ubica dentro del rango

recomendado para agua cruda en tuberías que evita la acumulación de sedimentos y la erosión (Water Corporation, 2024), permitiendo además regímenes que minimizan las pérdidas de carga por fricción (i.e., números de Reynolds entre $1{,}6\times10^{5}$–$2{,}3\times10^{5}$, ver Ecuación 2). Ahora bien, este aspecto contrasta con dificultades reportadas cuando la capacidad de captación incrementa y el caudal en el desarenador supera los 30 L/s de entrada. En efecto, la tubería de aducción de 6 in encuentra su capacidad máxima para valores cercanos a los 35 L/s, ya que en estas condiciones el sistema alcanza la velocidad máxima para la integridad del sistema.

Por otra parte, la PTAP cuenta con dos floculadores en paralelo, cada uno dividido en seis compartimientos que funcionan hidráulicamente como una sola unidad. Cada compartimiento presenta dimensiones aproximadas de 1,36×1,205×3,02 m, para un volumen aproximado total de floculación de 59,4 m³ (29,7 m³ en cada floculador). Por consiguiente, el tiempo de retención hidráulica se determinó mediante la Ecuación 3 y se muestra en la Tabla 1. De acuerdo con los resultados observados en la Tabla 1, el tiempo de retención es de 35-50 min y se encuentra dentro del rango de referencia para floculación convencional basado en la Resolución 799 de 2021 establece. Por tanto, no se identifica una condición hidráulica desfavorable en los floculadores para los caudales altos evaluados.

Tabla 1

Tiempos de retención hidráulico

	Tiempo de retención (min)	
Caudal (L/s)	**Coagulación**	**Sedimentación**
20	49,5	33,6
24	41,2	28,0
25	39,6	26,9
27	36,7	24,9
28	35,4	24,0

En cuanto a la sedimentación, cada sedimentador posee dimensiones aproximadas de 2,92×2,627×2,63 m (volumen de ~20,17 m³, 40,34 m³ en conjunto). Su tiempo de retención hidráulica a partir de la Ecuación 3 se muestra en la Tabla 1 y muestra valores de 24-34 min. Si bien el RAS establece como referencia un tiempo de retención hidráulica de 2-4 horas para sedimentadores convencionales, este rango disminuye a 10-15 min para sistemas compactos ayudados de lamelas (como el de la PTAP Charalá). Por consiguiente, la condición hidráulica de los sedimentadores es favorable, siempre que el sistema de lamelas opere correctamente.

Finalmente, aunque no se dispone de mediciones de SST, se plantea una aproximación a partir de la turbiedad, con el fin de estimar la producción de lodos. Como referencia metodológica, la EPA indica que la relación entre SST y turbiedad puede encontrarse aproximadamente entre 1 y 2 mg/L de SST por cada UNT, aunque esta relación depende de las características particulares del agua. A partir de los registros de turbiedad se obtiene un promedio de 22,4 UNT. Aplicando la Ecuación 4 se obtiene una concentración aproximada de 33,6 mg/L de SST. Para un caudal representativo de operación de 24 L/s, esto corresponde a una carga teórica aproximada de 69,8 kg/día de SST. Este resultado debe considerarse únicamente como una aproximación.

4.2.4 Diagnóstico de la calidad del agua

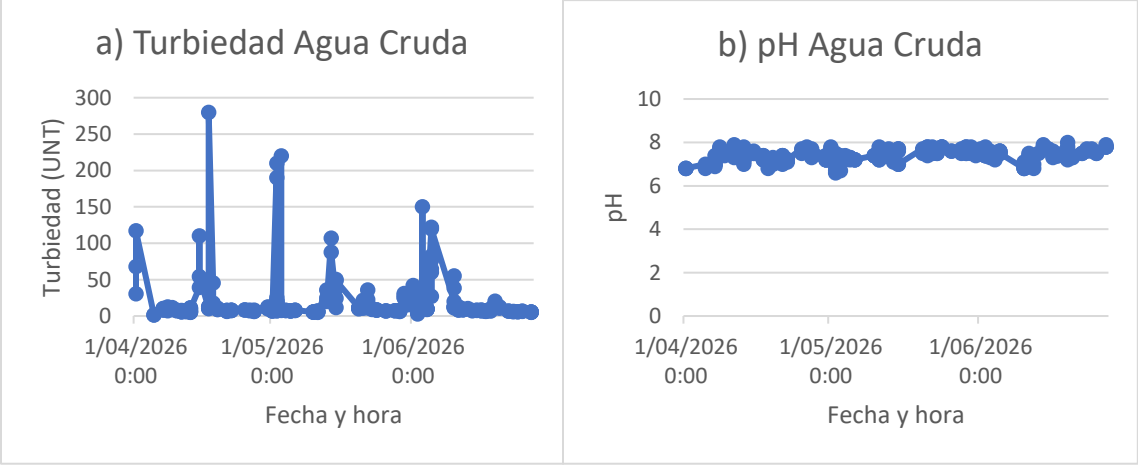
La evaluación de la calidad del agua se desarrolla considerando las características del agua cruda, el comportamiento de los parámetros durante el proceso de tratamiento y las condiciones del agua tratada. Para esto, se analizaron los registros operativos correspondientes a los meses de abril, mayo y junio del 2026 de turbiedad, color, pH, alcalinidad y cloro total (ver Apéndice L).

4.2.4.1 Calidad del agua cruda

Entre los parámetros evaluados se encuentran la turbiedad, el color, el pH y la alcalinidad. La Figura 1 presenta el comportamiento de la turbiedad y el pH durante el período analizado. El parámetro de turbiedad evidencia una alta variabilidad de la turbiedad del agua cruda durante el periodo evaluado. De acuerdo con los registros disponibles, se presentaron valores entre 1,48 y 220 UNT, con periodos en los que se observaron valores bajos y otros en los que se presentaron incrementos importantes. De acuerdo con los criterios del RAS, el comportamiento no se mantiene en un único nivel de calidad, sino que presenta valores que abarcan diferentes categorías establecidas por la normativa (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021). Estas variaciones pueden generar una mayor dificultad en las siguientes etapas del proceso.

Figura 1

Comportamiento histórico del agua cruda: a) Turbiedad y b) pH



El pH es estable con valores entre 6,8 y 7,85 manteniéndose cercanos a la neutralidad. Al comparar estos resultados con los criterios de calidad de la fuente establecidos en el RAS, el intervalo correspondiente a una fuente aceptable se encuentra entre 6,0 y 8,5, correspondiente a

una condición aceptable para una fuente superficial (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

En cuanto al color del agua cruda (ver Apéndice L), se presentaron valores entre 57,5 y 500 UPC, evidenciando incrementos en determinados momentos del periodo. De acuerdo con los criterios del RAS se evidencia que todos los registros de color de agua cruda se encuentran por encima de 40 UPC. Por esto, este parámetro se encuentra dentro de la categoría de calidad muy deficiente durante el periodo evaluado. Los valores altos de color deben ser considerados dentro de la operación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, debido a que una mayor presencia de sustancias que aportan color puede incrementar la demanda de tratamiento y afectar la eficiencia de remoción (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

4.2.4.2 Calidad del agua en el proceso

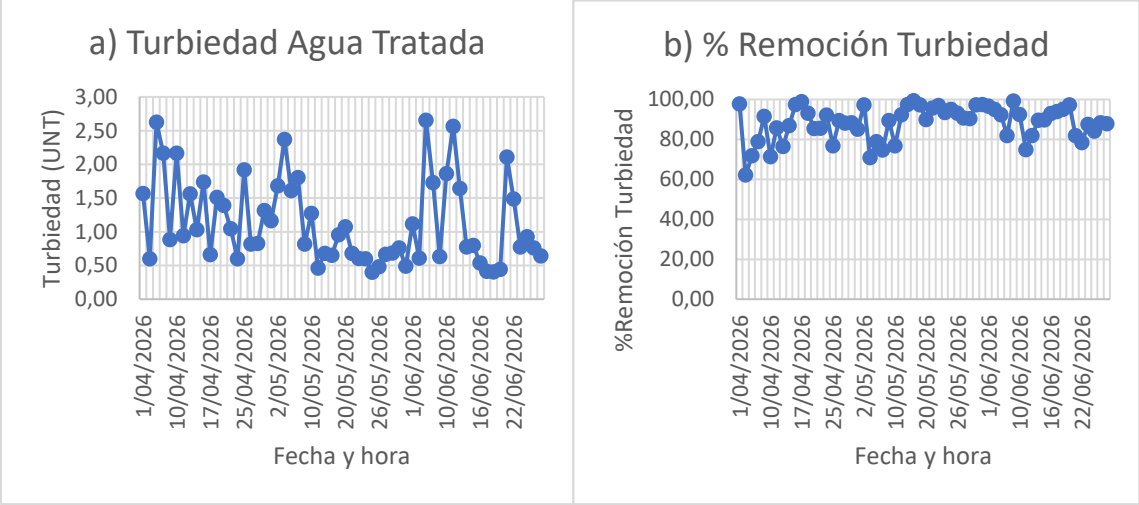
Se identificó que la PTAP realiza controles de calidad durante la operación mediante la medición de diferentes parámetros fisicoquímicos. Sin embargo, no se identificó un esquema estandarizado que establezca para cada etapa los puntos de control, parámetros, frecuencia de medición, valores de referencia y acciones que deben ejecutarse ante desviaciones. En efecto, los parámetros de calidad son utilizados como apoyo para la toma de decisiones, solo cuando se presentan alteraciones, como, por ejemplo, en la formación del *floc*, donde se revisan parámetros como pH y alcalinidad para identificar posibles cambios en las condiciones del agua. La Resolución 082 de 2009 contempla dentro de la evaluación sanitaria el control de los procesos de tratamiento y la disponibilidad de equipos básicos para ensayos de turbiedad, color, pH, prueba de jarras y demanda de cloro (Ministerio de la Protección Social, 2009).

4.2.4.3 Calidad del agua tratada

Los registros de turbiedad del agua tratada observados en la Figura 2a muestran valores en torno a las 2 UNT y solo en algunos casos particulares el valor fue superior al límite de 2 UNT establecido para agua de consumo humano (Ministerio de Ambiente, 2007). En efecto, la reducción de turbiedad entre el agua cruda y el agua tratada (ver Figura 2b) muestra porcentajes de remoción entre 62–99%, con un promedio aproximado de 88,33%., evidenciando un buen desempeño de remoción, aunque con una variabilidad importante.

Figura 2

Comportamiento histórico del agua tratada: a) Turbiedad y b) % Remoción turbiedad



El color del agua tratada (ver Apéndice L) muestra valores <56,7 UPC, superando los 15 UPC establecidos en la norma en algunos eventos muy puntuales, lo que conlleva a que el agua tratada sea reincorporada a el proceso. El pH del agua tratada es estable y cercano a la neutralidad con valores entre 6,60 y 7,00 durante el periodo analizado, dentro del rango para consumo humano (i.e., 6,5 y 9,0, Resolución 2115 de 2007) (Ministerio de Ambiente, 2007). Por último, los registros de cloro total y alcalinidad del agua tratada presentaron valores entre 0,10 y 3,89 mg/L, y 30 y 40 mg/L respectivamente, indicando que los valores obtenidos se encontraron dentro de los rangos de

referencia establecidos en la normativa aplicable. Para consultar el comportamiento detallado de estos parámetros, se recomienda revisar las gráficas correspondientes al Apéndice L.

4.2.5 Diagnóstico administrativo y organizacional

La planta cuenta con operadores certificados por el SENA como potabilizadores de agua, lo que constituye una condición favorable para el desarrollo de las actividades habituales. Sin embargo, se identificó que el conocimiento práctico no se encuentra distribuido de manera uniforme entre el personal. Las situaciones que requieren mayor experiencia o toma de decisiones son consultadas principalmente con el líder de planta. Esta situación adquiere mayor importancia debido a que parte del conocimiento utilizado para resolver situaciones particulares se ha adquirido mediante la experiencia. Por ello, aunque existe personal capacitado para las actividades rutinarias, se presenta una dependencia del conocimiento de quien posee una mayor trayectoria en la planta**.**

En relación con la capacitación y transferencia del conocimiento, la formación del personal se desarrolla principalmente mediante acompañamiento e instrucción directa durante las actividades de trabajo. Esta práctica permite transmitir conocimientos adquiridos por experiencia y orientar a los operadores en sus labores diarias. No obstante, no se cuenta con un plan de capacitación formal ni con registros que permitan verificar las actividades realizadas y su seguimiento. En consecuencia, la transferencia del conocimiento depende en buena medida de la experiencia del personal y del acompañamiento que se realiza durante el trabajo.

Por otra parte, el seguimiento de las actividades se realiza principalmente de acuerdo con las situaciones que se presentan durante el funcionamiento cotidiano de la planta. No se identificaron indicadores internos que permitan evaluar periódicamente aspectos como el desempeño del personal, el consumo de insumos o el comportamiento de la gestión. Como referencia externa, los resultados del IRCA reportados por la Gobernación de Santander presentan

una evolución favorable. Sin embargo, este indicador permite evaluar la calidad del agua y no reemplaza los mecanismos internos de seguimiento administrativo.

En cuanto a los recursos y la autonomía para la gestión, la planta dispone de recursos provenientes del recaudo de la tarifa del servicio, los cuales permiten cubrir gastos corrientes como la nómina y los insumos. Esta condición favorece la atención de las necesidades habituales de funcionamiento. Sin embargo, después de la liquidación de Aguas del Quenta y la reincorporación de la planta como dependencia municipal, los predios y la infraestructura física no se encuentran bajo autonomía directa de la planta. Por esta razón, las inversiones y adecuaciones de infraestructura dependen de la gestión y disponibilidad presupuestal del municipio.

Finalmente, en materia de seguridad y salud en el trabajo se identificó favorablemente el suministro de dotación y elementos de protección personal (EPP) a los trabajadores. Asimismo, se encontraba en proceso la contratación de un profesional para estructurar el Sistema de Gestión de SST. No obstante, se evidenció que existen aspectos pendientes de gestión de los riesgos laborales, principalmente relacionados con la falta de inspecciones periódicas, ausencia de señalización y demarcación en las áreas operativas y falta de seguimiento al uso adecuado de los EPP.

4.2.6 Diagnóstico ambiental y de sostenibilidad

4.2.6.1 Manejo de residuos directos provenientes del tratamiento

La infraestructura actualmente presenta dificultades para la extracción de lodos. Este es un aspecto relevante debido a que estos residuos deben ser gestionados de manera que se evite su acumulación, disposición inadecuada o descarga directa al medio ambiente. En efecto, la Resolución 082 de 2009 expresa que dentro de los procesos de tratamiento debe existir el tratamiento y disposición de los lodos provenientes del lavado de filtros y de las descargas de los

sedimentadores., ya que es necesario controlar los riesgos que pueden representar para las condiciones sanitarias y ambientales de la planta.

Adicionalmente, al análisis de aguas de lavado muestra como principales consumos los procesos de retro-lavado de los filtros y los lavados de las instalaciones, incluyendo tanques y sedimentadores. En el caso de los filtros, el lavado se realiza mediante agua a contracorriente, mientras que para la limpieza de las instalaciones de la planta se utiliza una hidrolavadora. Se identificó que el consumo en estos procesos no es directamente medido ni registrado. Estos volúmenes se estiman mediante aproximaciones, lo que limita la determinación precisa de la cantidad de agua utilizada para mantenimiento y limita el seguimiento histórico. Al respecto, la Resolución 082 de 2009 establece específicamente la necesidad de medir o estimar los caudales correspondientes al lavado de filtros, sedimentadores, drenajes y otros consumos, de manera que esta información permita completar el balance de agua.

4.2.6.2 Gestión y uso eficiente del recurso hídrico

El RAS establece que se debe considerar la protección de las fuentes de abastecimiento y el cumplimiento de la normativa ambiental relacionada con el uso y aprovechamiento del recurso hídrico. También indica que se debe contar con las autorizaciones correspondientes para el uso del agua. De acuerdo con la revisión, los aspectos relacionados con permisos y el PUEAA se encuentran al día. Aunque estas evidencias no se recopilaron, a partir de las inspecciones de la Secretaría de Salud de la Gobernación de Santander se puede inferir su existencia.

4.2.6.3 Manejo de residuos generados en la planta

La PTAP genera residuos debido a las actividades de laboratorio, almacenamiento y uso de insumos químicos, mantenimiento y limpieza de las instalaciones. Su manejo implica un aspecto ambiental importante, debido a que las actividades desarrolladas en la planta generan

diferentes tipos de residuos que requieren ser identificados, separados, almacenados y dispuestos de acuerdo con sus características. En la PTAP se aplican prácticas relacionadas con la gestión de los residuos, especialmente las correspondientes a las estrategias de separación, manejo y disposición de los residuos generados. Sin embargo, estas actividades no se encuentran formalizadas en un documento oficial o sistema de gestión de residuos específico para la planta.

Esta situación adquiere especial importancia frente a los residuos asociados a productos químicos y actividades de laboratorio. El Ministerio de Ambiente (Ministerio de Ambiente, 2007) establece que los generadores de residuos peligrosos deben contar con un plan de gestión orientado a prevenir y minimizar su generación y a documentar aspectos como el origen, cantidad, características de peligrosidad y manejo de los residuos. De igual manera, los residuos peligrosos deben gestionarse mediante alternativas ambientalmente adecuadas y, cuando corresponda, mediante gestores que cuenten con las autorizaciones ambientales requeridas. Por otra parte, se evidenció la presencia de materiales y elementos en desuso en el laboratorio. Esta situación constituye una condición que debe ser considerada dentro de la organización y seguimiento de la gestión de residuos de la planta.

4.3 Propuestas de mejoramiento

A partir de los hallazgos identificados en las seis categorías de diagnóstico se formularon las estrategias de mejoramiento. Estas se desarrollan en las secciones siguientes, mientras que el Apéndice M presenta una síntesis de todas las propuestas establecidas a partir del diagnóstico.

4.3.1 Estrategias técnicas

4.3.1.1 Sistema de extracción de lodos del sedimentador

Debido a la ausencia de un sistema específico para la extracción de lodos, se propone implementar un sistema que permita realizar la evacuación de los sólidos acumulados de manera

controlada. Para seleccionar la alternativa se consideran las condiciones del sedimentador y su carácter compacto, así como la necesidad de retirar los lodos sin requerir el vaciado completo de la unidad. Estas condiciones se relacionan con los criterios establecidos para el manejo de los residuos generados durante el tratamiento de agua potable (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2022). Para la selección de la alternativa se consideran las opciones de la Tabla 2.

Tabla 2

Alternativas extracción de lodos

Alternativa	Ventaja	Desventaja
Succión mediante bomba o motobomba	Permite extraer los lodos mediante una línea de succión y realizar purgas intermitentes sin vaciar completamente la unidad.	Requiere bomba, tubería y elementos de control adecuados para el manejo de los lodos.
Tolva con válvula de fondo	Permite concentrar los sólidos en un punto para facilitar su evacuación.	Requiere que la geometría del fondo permita concentrar los sólidos y puede implicar modificaciones de la unidad.
Rastras mecánicas	Permiten conducir los sólidos acumulados hacia puntos definidos de extracción.	Requieren mecanismos adicionales, espacio disponible y mantenimiento de sus componentes.

De acuerdo con la Tabla 2, se propone la extracción mediante succión y bombeo intermitente, debido a que se adapta mejor a las condiciones del sedimentador de la PTAP Charalá. Para su implementación se deben definir los puntos de extracción, instalar las líneas de succión para conducir los lodos hacia la descarga, incorporar un sistema de bombeo compatible con el caudal y concentración de lodos, establecer una metodología de operación, de manera que la extracción pueda realizarse sin vaciar completamente el sedimentador y definir el caudal, tiempo y frecuencia de extracción a partir de la cantidad y concentración real de los lodos generados. Para

ello se recomienda una caracterización de los lodos que permita establecer con mayor precisión el volumen que debe evacuarse y las condiciones de funcionamiento del sistema.

4.3.1.2 Adecuación del sistema de filtración

Debido a las deficiencias observadas en la filtración, se propone verificar inicialmente el estado del medio filtrante, teniendo en cuenta que el diagnóstico no permitió comprobar directamente su desgaste. La intervención dependerá del resultado de esta verificación. Para ello se debe inspeccionar el estado del medio filtrante y de los elementos que conforman el sistema de filtración, determinar si el medio requiere renovación, reconstruir el lecho manteniendo la configuración original de gravilla, arena y carbón, actualizar las especificaciones de los materiales, principalmente sus características granulométricas y condiciones de colocación, de acuerdo con los criterios técnicos aplicables (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2022) y verificar las condiciones del sistema de drenaje y distribución.

4.3.1.3 Recuperación de los equipos y componentes de dosificación

Debido a que el dosificador de cloro gaseoso se encuentra fuera de servicio, se propone su reemplazo, buscando reincorporar el sistema de inyección gaseosa. Para ello se debe verificar la relación entre caudal y dosificación, de manera que la aplicación de cloro pueda ajustarse según las condiciones de operación, realizar seguimiento al cloro residual para comprobar el comportamiento de la desinfección. Además, se propone verificar el estado y tiempo de servicio de los componentes del sistema de cloración (i.e., *check* y válvulas) para determinar si el deterioro está asociado al cumplimiento de su vida útil o a una selección inadecuada del material, reemplazar los componentes deteriorados y ajustar las especificaciones del material de acuerdo con las condiciones de operación y compatibilidad requeridas.

4.3.2 Estrategias operativas

Inicialmente se propone elaborar e implementar un Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAP, para documentar y estandarizar las actividades desarrolladas durante su funcionamiento. El manual debe recopilar los procedimientos asociados a la operación de las diferentes unidades de tratamiento, control de variables, dosificación de productos químicos, manejo de situaciones asociadas a variaciones de calidad del agua, actividades de limpieza, mantenimiento de equipos, atención de fallas, manejo de turnos y registros requeridos. Implementar este documento permitirá disminuir la dependencia del conocimiento adquirido mediante la experiencia de los operadores (Cristian Emiro Moreno Rojas & Emiro Moreno Rojas Asesor Ing Jorge Edwin Gelvez, 2020). En efecto, el RAS indica que los procedimientos para la operación continua y permanente de los componentes de los sistemas deben seguir los manuales de operación y mantenimiento, los manuales de procesos y procedimientos y demás documentos técnicos disponibles para los prestadores (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

Por otro lado, se propone implementar un sistema de registro y seguimiento de la información operacional**,** preferiblemente mediante herramientas digitales que complementen los registros físicos existentes. Este sistema deberá definir las variables, frecuencias y responsables de registro, e incluir información sobre las condiciones del agua, controles realizados, productos y dosis aplicadas, novedades y acciones ejecutadas durante los turnos, conservando los registros físicos e incluyendo revisiones periódicas y el uso histórico para análisis de comportamiento de la planta, fortaleciendo así la trazabilidad del proceso, en concordancia con lo establecido en el RAS (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

Adicionalmente, se propone implementar un sistema de medición y registro de niveles en los tanques de almacenamiento que permita realizar una medición precisa y continua del volumen

de agua tratada para facilitar la planeación de la operación y distribución. Algunas alternativas que pueden ser consideradas se encuentran:

- **Medición manual (escala o regla graduada):** alternativa de baja inversión, apropiada cuando se requiere un seguimiento periódico y existe facilidad de acceso al tanque.
- **Indicadores de nivel mecánicos o visuales:** permiten conocer el nivel sin requerir sistemas electrónicos complejos.
- **Sensores electrónicos de nivel:** permiten realizar mediciones continuas y registrar automáticamente los valores.
- **Sensores ultrasónicos:** permiten realizar medición sin contacto directo con el agua y pueden integrarse a sistemas de monitoreo.
- **Sistemas de telemetría:** alternativa de mayor complejidad que permitiría visualizar y almacenar los niveles de manera remota.

También se propone fortalecer la formación de los operadores mediante un programa basado en las necesidades identificadas, que contemple alternativas como capacitación externa o interna, talleres prácticos y formación virtual, abordando temas relacionados con la operación de las unidades, pruebas de jarras, coagulación, floculación, dosificación de productos químicos, desinfección y seguridad en su manipulación (Julián Cáceres Medina, 2026).

Por último, se propone establecer un mecanismo de gestión y transferencia del conocimiento operacional, identificando las situaciones que actualmente son resueltas principalmente con base en la experiencia de los operadores y documentándolas. Luego de ser revisadas y aprobadas pueden ser incorporadas al Manual de Operación y Mantenimiento (Julián Cáceres Medina, 2026).

4.3.3 Estrategias hidráulicas

4.3.3.1 Capacidad de conducción y comportamiento a caudales altos

Se propone reemplazar la tubería de 6 in del tramo desarenador–PTAP por una conducción de 8 in. El aumento del diámetro incrementa el área de paso disponible, disminuyendo la velocidad del flujo y las pérdidas de carga para un mismo caudal, lo que permitirá mejorar la capacidad de conducción hacia la planta. La implementación del nuevo diámetro se debe verificarse mediante cálculos hidráulicos, considerando la carga disponible entre los extremos, el caudal de diseño, la longitud y las características de la tubería, de acuerdo con los criterios establecidos para el diseño de conducciones en el RAS (Resolución 799 de 2021).

4.3.3.2 Sedimentación

La sedimentación mostró una condición hidráulica de atención, ya que los tiempos de retención calculados corresponden a los de sedimentadores compactos, que dependen sustancialmente del desempeño de los módulos de sedimentación de alta tasa (i.e., placas o tubos inclinados que aumentan el área efectiva de sedimentación (Resolución 799 de 2021; EPA, 1999)). Por ende, es importante evaluar su desempeño real mediante análisis más rigurosos que permiten evidenciar el estado real de estos dispositivos. En efecto, la Resolución 799 de 2021 contempla los módulos de alta tasa dentro de los criterios de sedimentación y establece parámetros específicos para módulos de placas y tubos inclinados.

4.3.3.3 Acumulación de sólidos y estimación de carga

Se propone la implementación de un sistema para su monitoreo periódico de los SST, con una frecuencia que pueda ser asumida por la capacidad operativa de la planta. La información obtenida permitirá mejorar progresivamente la estimación de la carga de sólidos que ingresa al tratamiento, y, por ende, las estrategias de manejo de los lodos. La EPA recomienda desarrollar

bases de datos mediante programas de muestreo cuando no se dispone de información suficiente sobre los sólidos del agua cruda y señala que la turbiedad puede utilizarse como referencia para estimar esta carga cuando no existen mediciones directas (EPA, 1996).

4.3.4 Estrategias de calidad del agua

Inicialmente, se propone fortalecer el conocimiento de las condiciones de calidad del agua cruda captada, considerando que los resultados obtenidos evidenciaron una alta variabilidad de la turbiedad y el color, condiciones que pueden afectar a los procesos posteriores de potabilización. Se propone implementar un esquema integral de monitoreo que considere parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, variabilidad climática, identificación de riesgos sanitarios de la fuente y relación de los resultados con el desempeño del tren de tratamiento.

La caracterización toma como referencia los lineamientos establecidos en el RAS. Para fuentes superficiales, el Artículo 107 establece parámetros mínimos de caracterización, incluyendo mediciones *in situ* de temperatura, pH y conductividad, así como análisis de turbiedad, color, alcalinidad, hierro, manganeso, cloruros, sulfatos, nitratos, dureza, nitrógeno y fosforo cuando existan actividades agrícolas, además de E. coli. Asimismo, se debe considerar la variación de calidad del agua entre períodos secos y lluvia (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

De manera complementaria, se propone establecer un programa de control y seguimiento de la calidad del agua durante las diferentes etapas del tratamiento, mediante el cual se definan los puntos de control, parámetros, frecuencia de medición, valores de referencia y acciones de respuesta. Esta propuesta es con el fin de organizar y fortalecer los controles que actualmente realiza la planta. Este programa debe considerar los aspectos recopilados en la Tabla 3.

Tabla 3

Variables para el control de calidad del agua durante el proceso

Etapa	Variables a considerar	Finalidad del control
Agua cruda	Turbiedad, color, pH, alcalinidad y demás parámetros	Identificar variaciones en las condiciones de entrada
Coagulación	Dosis de coagulante y resultados de prueba de jarras	Verificar condiciones de desestabilización
Floculación	Características del flóculo, pH y alcalinidad cuando corresponda	Verificar formación adecuada del flóculo
Sedimentación	Turbiedad y comportamiento del agua clarificada	Evaluar eficiencia de separación
Filtración	Turbiedad y comportamiento del agua clarificada	Identificar perdida de eficiencia del proceso
Desinfección	Concentración de desinfectante y demás variables requeridas	Verificar condiciones de desinfección
Agua tratada	Turbiedad, color, pH y desinfectante residual, además de los parámetros aplicables	Verificar las condiciones finales del agua

El RAS establece que los procesos unitarios deben seleccionarse y operarse de acuerdo con los contaminantes presentes en el agua y buscando garantizar los estándares de calidad establecidos para agua de consumo humano (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021). Para implementar esta propuesta se plantea identificar los puntos de control existentes, definir los puntos que requieren fortalecimiento, establecer los parámetros que deben analizarse en cada punto, definir una frecuencia de medición de acuerdo con la variabilidad del proceso, establecer valores de referencia para cada parámetro, definir acciones de respuesta ante resultados fuera de los rangos establecidos, incorporar los resultados al sistema de registros operacionales y revisar periódicamente los resultados para identificar tendencias.

Por otro lado, también se propone fortalecer la identificación de los riesgos sanitarios presentes en la fuente, mediante la revisión del mapa de riesgo correspondiente, la información disponible de las autoridades competentes y la realización de inspecciones de campo en el área de la captación. Los resultados obtenidos deberán consolidarse en una base histórica que permita

establecer valores mínimos, máximos, promedios y patrones de variabilidad, y relacionarlos con el comportamiento de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

Asimismo, considerando que en el diagnóstico se identificó que el control de la sedimentación requiere fortalecimiento**,** se propone realizar un seguimiento sistemático de las características del agua clarificada y su relación con las condiciones de coagulación y floculación. Esta evaluación deberá considerar la turbiedad del agua a la entrada y salida del sedimentador, las características del flóculo formado, las condiciones de coagulación y floculación, la presencia de arrastre de flóculos, la acumulación de sólidos, la frecuencia de purgas o extracción de lodos y el comportamiento de la unidad ante incrementos de turbiedad y color del agua cruda. Con base en los resultados podrán identificarse las medidas de mejoramiento necesarias, las cuales pueden incluir ajustes operacionales, modificaciones en las condiciones de coagulación y floculación, optimización de tiempos de operación o mantenimiento de las unidades.

Finalmente, se propone fortalecer el control de la desinfección mediante la incorporación de la medición de cloro residual libre, complementando el seguimiento actualmente realizado mediante cloro total. La Resolución 2115 establece que el cloro residual libre en la red de distribución debe encontrarse entre 0,3 y 2,0 mg/L y señala que la dosis aplicada debe determinarse mediante pruebas frecuentes de demanda de cloro (Ministerio de Ambiente, 2007). Adicionalmente, la Resolución 082 de 2009 contempla la necesidad de contar con equipos para el análisis de cloro residual total y libre (Ministerio de la Protección Social, 2009).

4.3.5 Estrategias administrativas

4.3.5.1 Gestión y transferencia del conocimiento

Establecer un mecanismo interno para recopilar, organizar y documentar los conocimientos adquiridos por el personal con mayor experiencia, incluyendo procedimientos, criterios de

actuación y situaciones no rutinarias. La información deberá mantenerse disponible para consulta de los operadores y actualizarse a partir de las experiencias que se presenten en la planta.

4.3.5.2 Capacitación del personal

Estructurar un programa periódico de capacitación a partir de las necesidades identificadas en la planta, definiendo los temas prioritarios, responsables, frecuencia y mecanismos de registro. El programa deberá contemplar tanto el fortalecimiento de conocimientos técnicos como la actualización de los procedimientos necesarios para el desarrollo de las actividades.

4.3.5.3 Seguimiento de la gestión

Establecer un sistema básico de seguimiento mediante indicadores que puedan ser registrados periódicamente y que permitan evaluar aspectos relevantes de la gestión, como consumo de insumos, mantenimiento, capacitación y cumplimiento de actividades. Los resultados deberán revisarse periódicamente para identificar variaciones y establecer las acciones correspondientes.

4.3.5.4 Gestión de recursos e infraestructura

Implementar un registro consolidado de las necesidades de mantenimiento, reparación y adecuación de la infraestructura, incorporando su descripción, prioridad, requerimiento estimado y estado de gestión. Este registro permitirá organizar las necesidades de la planta y facilitar su presentación y seguimiento ante la administración municipal.

4.3.5.5 Seguridad y salud en el trabajo

Consolidar la implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo mediante un programa de inspecciones periódicas de las áreas operativas, acompañado de la señalización y demarcación de las zonas de trabajo y del seguimiento al uso adecuado de los

elementos de protección personal. Las actividades realizadas deben registrarse para facilitar su seguimiento.

4.3.6 Estrategias ambientales y de sostenibilidad

En primer lugar, se propone fortalecer la medición y registro de los consumos internos de agua de la PTAP, en especial los asociados al lavado de filtros, limpieza de las unidades y purgas de los procesos de sedimentación. Esto permitirá pasar de las estimaciones actualmente utilizadas a datos cuantificables que se puedan aprovechar para el balance hídrico de la planta. La Resolución 1257 de 2018 establece que el PUEAA debe considerar la descripción de los sistemas y métodos de medición del agua utilizada, la identificación de pérdidas respecto al caudal captado y las acciones para su control. Asimismo, contempla dentro de las líneas de acción la instalación, mantenimiento y calibración de medidores, la identificación y reducción de pérdidas, la recirculación y el reúso cuando sean técnicamente viables (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Se recomienda que la planta evalúe las alternativas disponibles de acuerdo con las características de cada punto de consumo. Entre las opciones se encuentran:

- Instalación de medidores de caudal en puntos estratégicos;
- Utilización de medidores portátiles cuando la instalación permanente no sea viable;
- Medición del tiempo de operación de los equipos de lavado asociada a su caudal;
- Estimación mediante aforos controlados en la implementan de sistemas de medición.

Por otro lado, se propone establecer un procedimiento para determinar periódicamente el volumen de lodo extraído, la frecuencia de extracción, la concentración de sólidos, las características del lodo y el volumen de agua asociado a la purga. La medición de SST puede incorporarse como herramienta para mejorar la estimación de la cantidad de sólidos generados.

Luego, se recomienda evaluar alternativas técnicas que puedan ser compatibles con la infraestructura existente, por ejemplo: extracción periódica mediante válvulas y conducción controlada, sistemas de extracción por gravedad, sistemas mecánicos de extracción, cuando las condiciones de la unidad lo requieran, adecuación de estructuras existentes para facilitar la evacuación de lodos.

La alternativa no debería seleccionarse únicamente por facilidad de implementación, sino considerando cantidad de lodos, características del sedimentador, concentración de sólidos, frecuencia de extracción, costos y disposición posterior. También se propone conocer la cantidad de agua utilizada cada actividad. En la Tabla 4 se observan algunas alternativas para el control; el RAS contempla el registro del volumen de lodo producido y procedimientos de lavado que permitan minimizar el agua utilizada (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021). Por esto, para la planta se propone que la primera etapa sea la medición, seguida de una evaluación técnica que determine si existe viabilidad para recuperar o reutilizar parte de estas aguas. Esta estrategia consiste en consolidar la información de entrada, salida y consumos internos de la planta para determinar donde se producen las principales demandas y perdidas de agua.

Tabla 4

Alternativas para el control de aguas de lavado

Alternativa	Aplicación	Beneficio ambiental
Medición directa	Instalar o utilizar dispositivos de medición para determinar el volumen utilizado en lavado de filtros y otras actividades.	Permite construir un balance real del consumo interno.
Recuperación del agua de lavado	Conducir el agua de lavado hacia una unidad de almacenamiento o tratamiento para evaluar su posible aprovechamiento.	Puede disminuir el consumo de agua nueva.
Reusó interno	Evaluar el uso del agua	Reduce la demanda de agua

	recuperada en actividades compatibles con su calidad.	potable para actividades auxiliares.

Para ello, es posible considerar los indicadores propuestos en la Tabla 5.

Tabla 5

Indicadores para el uso eficiente del agua

Indicador	Fórmula propuesta	Finalidad
Consumo interno de agua	Volumen utilizado en lavados y actividades auxiliares (m^3/mes)	Conocer la demanda interna
Porcentaje de agua utilizada en lavado	Agua utilizada en lavado / agua captada x100	Determinar participación del lavado
Agua recuperada	Volumen recuperado / volumen de agua de lavado × 100	Evaluar aprovechamiento
Agua no contabilizada dentro del proceso	Diferencia entre entradas y salidas conocidas	Identificar perdidas o consumos no registrados
Frecuencia de lavado	Numero de lavados por periodo	Evaluar comportamiento operativo
Consumo especifico	Agua utilizada en actividades internas / volumen de agua tratada	Comparar eficiencia entre periodos

Por último, se propone estructurar una herramienta de gestión para consolidar las actividades que actualmente realizan los operadores y establezca criterios documentados para identificación, separación, almacenamiento temporal, entrega y seguimiento de los residuos. La gestión adecuada de los residuos y materiales en el laboratorio abarca la identificación y clasificación de los desechos (como ordinarios, aprovechables, peligrosos o de laboratorio), su correcta separación en la fuente y un almacenamiento temporal seguro para prevenir derrames o contaminación. Asimismo, requiere llevar un registro detallado de su control y trazabilidad, coordinar la gestión externa con operadores autorizados cuando sea necesario, y realizar un

inventario y manejo de los materiales en desuso para evaluar su reutilización o disposición final. (Cristian Emiro Moreno Rojas & Emiro Moreno Rojas Asesor Ing Jorge Edwin Gelvez, 2020)

5. Conclusiones

La recopilación y análisis de la información técnica y operativa obtenida mediante la revisión documental, las visitas técnicas, las entrevistas al personal y los registros disponibles permitió caracterizar el funcionamiento actual de la PTAP de Charalá. Se identificaron las condiciones de sus unidades y equipos, las prácticas de operación y mantenimiento, y los aspectos administrativos, organizacionales y ambientales, estableciendo una base para identificar las condiciones que influyen en su desempeño.

El diagnóstico permitió determinar que la PTAP mantiene su operación continua, pero presenta condiciones que afectan su desempeño, principalmente relacionadas con la configuración incompleta, el manejo de sólidos, algunas condiciones hidráulicas, la variabilidad de la calidad del agua cruda (principalmente la turbidez con un coeficiente de variación porcentual de 107%) y la falta de procedimientos y registros operativos estandarizados.

A partir de estos hallazgos se formularon estrategias de mejoramiento orientadas a fortalecer las condiciones de la PTAP acordes con sus capacidades. El plan de mejora propone rehabilitar y modernizar la infraestructura técnica e hidráulica (extracción de lodos, dosificación de cloro, medios filtrantes, válvulas y ampliación de tuberías), al tiempo que estandariza y digitaliza la gestión operacional mediante la creación de un manual de procesos, la medición de niveles y la sistematización de registros para eliminar la dependencia del criterio empírico. Asimismo, fortalece el control de calidad e insumos a través de la caracterización continua del agua y la calibración de dosis, promueve la sostenibilidad ambiental mediante la medición del

balance hídrico y la gestión formal de residuos, y consolida la estructura administrativa mediante programas formales de capacitación e indicadores de gestión.

6. Recomendaciones

- Fortalecer la estimación y seguimiento de los lodos generados en la planta, mediante la incorporación de mediciones periódicas de solidos suspendidos totales (SST) y de la altura o nivel de acumulación de lodos en las unidades donde estos se generan.
- Mejorar el diligenciamiento de las planillas de registro operacional y de calidad del agua, estableciendo criterios uniformes para el registro de la información. Se recomiendo utilizar el formato de 24 horas, registrar las fechas de manera completa y evitar campos sin diligenciar.
- Mantener y fortalecer el seguimiento de los parámetros de calidad del agua cruda y tratada, asegurando que los registros permitan identificar la fecha y hora de cada medición y diferenciar claramente la etapa del proceso en la que fue realizada.
- Se recomienda implementar el Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAP, los procedimientos, los puntos de control, las actividades de mantenimiento, las condiciones normales de operación y las acciones a seguir ante situaciones no previstas.
- Fortalecer el seguimiento del uso eficiente del recurso hídrico mediante el registro del agua captada, utilizada en el proceso de tratamiento y destinada a actividades de lavado y limpieza.
- A partir de las formulaciones generadas en el presente informe, detallar una propuesta generalizada de mejora para la PTAP.

Referencias bibliográficas

Andrés Camilo Páez Arenas y Catalina Alejandra Lizarazo González. (2026). *Desarrollo de un manual de operaciones para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Charalá, Santander*.

Cristian Emiro Moreno Rojas, sas, & Emiro Moreno Rojas Asesor Ing. Jorge Edwin Gelvez, C. (2020). *Actualización del manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas y la planta de tratamiento de agua potable domestica del campamento la higuera, sociedad minera de Santander.minesa.s.a.s.*

Departamento Administrativo de la Función Pública. (1994). *Ley 142 de 1994*.

Julián Cáceres Medina. (2026). *Elaboración de un manual de buenas prácticas de operación y mantenimiento para la prevención de fallas en el sistema y capacitación técnica de los empleados de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Cubará*.

Lozano-Rivas, W. Antonio., & Lozano Bravo, Guillermo. (2015). *Potabilización del agua: principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Universidad Piloto de Colombia.

Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2007). *Resolución 2115 de 2007*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015a). *Decreto 1076 de 2015*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015b). *Resolución 631 de 2015*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolución 1257 de 2018*. Ministerio de la Protección Social. (2007). *Decreto 1575 de 2007*.

Ministerio de la Protección Social. (2009). *Resolución 0082 de 2009*.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2023). *Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano INCA.*

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2021). *Normativa RAS.*

Ministerio de la Protección Social, M. de A. V. y D. T. (2010). *Resolución 4716 de 2010*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022). Reglamento Técnico del Sector de Agua

Potable y Saneamiento Básico: Documento compilatorio de las Resoluciones 330 de 2017 y 799 de 2021. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. http://apps.who.int/

U.S. Environmental Protection Agency. (2009). Technical analysis for determination of technology-based permit limits for the Guaynabo Drinking Water Treatment Facility; NPDES No. PR0022438. U.S. Environmental Protection Agency, Region 2.

Water Corporation. (2024). Design standard DS 31-01: Pipework – Mechanical (Version 1, Revisión 7)

Apéndices

Apéndice A. Principal normativa colombiana para el suministro de agua potable

Norma	Entidad	Alcance
Ley 142 de 1994	Congreso de la República de Colombia	Establece el Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios, regulando la prestación, competencias, control y derechos de los usuarios en servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.
Decreto 1575 de 2007	Ministerio de la Protección Social y MinAmbiente	Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia.
Resolución 2115 de 2007	MinProtección Social y MinAmbiente	Define las características, instrumentos de manejo y parámetros químicos, físicos y microbiológicos del agua para consumo humano (incluye el cálculo del IRCA e IRABApp).
Resolución 082 de 2009	Ministerio de la Protección Social	Adopta los formularios oficiales para la práctica de la inspección sanitaria en los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
Resolución 4716 de 2010	Ministerio de la Protección Social y MinAmbiente	Reglamenta la elaboración y actualización de los Mapas de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Decreto 1076 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Compila normativa sobre concesión de aguas, uso y protección del recurso.
Decreto 1077 de 2015	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Reglamenta la prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado.
Resolución 0631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público.
Resolución 0330 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Regula diseño, planeación, construcción, operación y mantenimiento de infraestructuras del agua (incluidas PTAP).
Resolución 0549 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Adopta guía de criterios para estudios y programas de reducción de riesgo y planes de contingencia en los sistemas de suministro de agua potable.
Resolución 0501 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Requisitos técnicos y legales para diseño y construcción de sistemas de acueducto y potabilización en zonas rurales o comunidades.
Resolución 0799 de 2021	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Modifica artículos (RAS, 0330/2017), actualizando criterios técnicos sobre dotaciones, pérdidas, eficiencias y simplificación de procesos operativos.

Apéndice B. Características de los principales tipos de planta de tratamiento de agua potable

Tipo PTAP	Principales Operaciones Unitarias	Variables Típicas de Aplicación	Comentarios Generales y Normatividad
Sistema convencional	Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.	-Turbiedad: 30 a 500 UNT. -Carga microbiológica: Requerido para fuentes con presencia significativa de microorganismos (p. ej., coliformes fecales /*E. coli* > 1.000 NMP/100 mL).	Es el sistema más utilizado en Colombia para fuentes superficiales con turbiedad entre 30 y 500 UNT (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021). Ofrece alta flexibilidad y barreras múltiples ante variaciones de calidad del agua cruda.
Filtración directa	Coagulación, filtración y desinfección (se omite la sedimentación e incluso la floculación en el tipo en línea).	-Turbiedad: Baja (< 30 UNT). -Color verdadero: Bajo (generalmente < 40 UPC).	Reduce significativamente los costos de construcción, mantenimiento y el área requerida para la planta al prescindir de unidades de clarificación previa (Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015).
Sistemas simplificados	Filtros lentos de arena, coagulación-sedimentación simplificada y desinfección con hipoclorito.	-Turbiedad: Moderada a baja o pretratada (<10 - 20 UNT para filtración lenta). -Operación: Flujos continuos y de baja complejidad técnica.	Tecnologías de bajo costo, fáciles de operar y mantener. Son muy frecuentes y recomendadas para zonas rurales y pequeñas poblaciones (Jairo Alberto Romero Rojas, 2000).
Pretratamiento y desinfección	Acondicionamiento químico (oxidación/remoción de hierro y manganeso, ajuste de pH) y desinfección.	-Turbiedad: Muy baja (< 5 UNT). -Carga microbiológica: Ausente o muy baja. -Parámetros clave: Presencia de Fe, Mn, CO_2 disuelto o desequilibrio de pH.	Indicado principalmente para aguas subterráneas de buena calidad microbiológica que no requieren remoción de sólidos en suspensión, sino únicamente ajuste físico-químico preventivo y garantía del desinfectante residual (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

Operación	Descripción
Captación	Estructura hidráulica que deriva el caudal necesario desde la fuente superficial hacia la planta. Incluye rejas de retención de sólidos, compuertas de regulación y un desarenador preliminar para evitar el ingreso de arenas. Su diseño considera el caudal máximo diario (QMD) y debe garantizar la captación incluso en épocas de estiaje.
Coagulación	Proceso químico en el que se adiciona un coagulante (generalmente sulfato de aluminio o cloruro férrico) al agua cruda en una cámara de mezcla rápida. La alta turbulencia (gradiente de velocidad entre 500 y 2000 s^{-1}) permite dispersar el coagulante en menos de un segundo, desestabilizando las partículas coloidales (arcillas, materia orgánica, microorganismos) para que puedan aglomerarse.
Floculación	Después de la coagulación; la agitación lenta (gradiente de velocidad decreciente de 70 a 10 s^{-1}) promueve el contacto entre partículas desestabilizadas, formando agregados mayores denominados flóculos. El tiempo de retención hidráulica total recomendado es de 20 a 40 minutos, con al menos tres zonas de floculación para lograr un gradiente medio de 40 s^{-1}.
Sedimentación	Separación sólido-líquido por gravedad; el agua floculada ingresa a sedimentadores (generalmente rectangulares de flujo horizontal o circulares), donde la velocidad horizontal se reduce (<1 cm/s) permitiendo que los flóculos sedimenten. La carga superficial recomendada es de 15–30 $m^3/m^2 \cdot d$ y el tiempo de retención hidráulica de 2–4h.
Filtración	Proceso de pulimento en el que el agua decantada atraviesa un lecho granular (arena sílice, antracita o carbón activado) que retiene las partículas y microorganismos remanentes. Los filtros rápidos convencionales operan con tasas de filtración entre 120 y 350 $m^3/m^2 \cdot$día, y requieren lavado periódico con agua o aire para recuperar su capacidad.
Desinfección	Etapa final donde se aplica un desinfectante (principalmente cloro o hipoclorito de sodio) para inactivar microorganismos patógenos sobrevivientes. Se garantiza un tiempo de contacto mínimo de 20 minutos y un residual de cloro libre en la red de distribución entre 0,3 y 2,0 mg/L.
Almacenamiento	El agua tratada y desinfectada se conduce a tanques de almacenamiento que regulan los caudales entre la producción y la demanda, mantienen la presión en la red y proveen volumen para emergencias.

Apéndice C. Heurísticas para el tratamiento de agua potable

Parámetros operativos clave, criterios de diseño y control asociados y observaciones técnicas basadas en la normativa colombiana RAS (Res. 0330/2017 y Res. 0799/2021).

Calidad del agua cruda	Nivel de tratamiento recomendado	Parámetros operativos y variables de control	Criterios de diseño y observaciones
Agua subterránea con condiciones fisicoquímicas y microbiológicas ideales	Desinfección y ajuste de pH (si requiere)	-Cloro residual libre (1,0 - 2,0 mg/L en salida de planta). -pH (6,5 - 9,0). -Turbiedad (< 2 UNT).	Aplica para fuentes subterráneas protegidas. Garantiza la barrera sanitaria y estabilización del agua frente a la agresividad o incrustación en la red.
Agua subterránea con presencia de hierro y/o manganeso	Acondicionamiento químico + Oxidación + Filtración + Desinfección	-Fe total (> 0,3 mg/L). -Mn total (> 0,1 mg/L). -Oxígeno disuelto y potencial redox (ORP).	Requiere aireación previa o dosificación de oxidantes (cloro, permanganato de potasio o peróxido) seguida de filtración en medio granulado para remover los precipitados.
Agua superficial con turbiedad < 30 UNT y baja carga orgánica	Filtración directa (coagulación + filtración) o filtración lenta en arena (FLA)	-Turbiedad (< 30 UNT). -Color verdadero (< 40 UPC). -Dosis baja de coagulante (1 – 10 mg/L).	Omite la etapa de sedimentación. En FLA no se requiere coagulante químico, pero exige caudales estables y límites estrictos de turbiedad para no colmatar el lecho biológico.
Agua superficial con turbiedad entre 30 – 500 UNT y presencia de coliformes	Sistema convencional completo (coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección)	-Turbiedad (30 - 500 UNT). -Coliformes fecales (> 1.000 NMP/100 mL). -Tiempo de mezcla rápida (< 1 s) y lenta (20 - 40 min).	Es la heurística estándar para fuentes superficiales en Colombia. Ofrece alta flexibilidad operativa frente a variaciones de calidad y múltiples barreras sanitarias.

Agua superficial con turbiedad > 500 UNT o alta variabilidad estacional	Pretratamiento (desarenador, presedimentación) + Sistema convencional	-Turbiedad pico (> 500 UNT). -Sólidos suspendidos totales (SST altos). -Tasa de remoción en presedimentador.	La presedimentación o los tanques de amortiguación reducen la carga de sólidos de entrada para evitar el colapso o la sobresaturación de las unidades de coagulación y floculación.
Agua con alto color verdadero y baja turbiedad (aguas "negras" de montaña/páramo)	Coagulación con pH óptimo ajustado + Filtración directa con contacto o Flotación por Aire Disuelto (DAF)	-Color verdadero (> 50 UPC). -Turbiedad baja (< 15 UNT). -pH de coagulación estricto (4,5 - 6,0 con sales de aluminio/hierro).	Las partículas que generan el color son coloides orgánicos. La baja densidad de las floculas formadas hace altamente eficiente el uso de DAF frente a la sedimentación por gravedad.
Presencia de contaminantes específicos (metales pesados, nitratos, sales, micro-contaminantes)	Tecnologías avanzadas (adsorción en carbón activado, intercambio iónico, membranas / ósmosis inversa)	-Conductividad / TDS (> 1.000 mg/L). -Nitratos, metales o plaguicidas sobre la norma. -Presión operacional de membranas.	Se emplean como procesos terciarios o de refinamiento cuando los procesos físico-químicos convencionales no logra remover los solutos disueltos o compuestos tóxicos.

Apéndice D. Información recopilada para el diagnóstico de la PTAP Charalá

Componente	Mecanismo	Instrumento	Información
Técnico	Visita técnica a la PTAP	Inspección visual y registro fotográfico	Características de las unidades de tratamiento, y distribución general de la planta.
Operacional	Entrevista al operador	Entrevista	Procedimientos de operación, control del proceso, dosificación de químicos, pruebas de jarras, y mantenimiento.
Estructural e hidráulico	Visita técnica y revisión de planos	Inspección visual y planos	Configuración hidráulica, distribución de las unidades, condiciones de flujo, y modificaciones realizadas.
Calidad del agua	Registros operacionales	Revisión documental	Parámetros fisicoquímicos, resultados de calidad del agua y control de cloro.

Administrativo /organizacional	Entrevista e informes	Revisión documental	Manuales, registros, Buenas Prácticas Sanitarias (BPS), planes de contingencia.
Ambiental y sostenibilidad	Entrevista y visita técnica	Inspección y revisión documental	Manejo de lodos, residuos, consumo de agua y energía, permisos ambientales y programas de gestión.

Apéndice E. Encuesta aplicada al personal

1. Diagnóstico técnico

- ¿Podría describir el recorrido completo del agua dentro de la planta y señalar cuáles son las unidades o equipos que más dificultades presentan durante la operación?
- ¿Qué cambios o modificaciones se han realizado en la planta desde su construcción y qué motivó esas intervenciones?
- ¿Qué cambios se realizaron después de la actualización en la construcción de la planta?
- ¿Cuáles son los equipos o sistemas que requieren más mantenimiento y qué tipo de fallas se presentan con mayor frecuencia?
- Cuando aumenta la demanda de agua o cambian las condiciones de la fuente, ¿cómo responde la planta y qué ajustes deben realizar?
- ¿Qué tan frecuente son los cambios en la demanda de agua y en sus condiciones?
- Si tuviera la posibilidad de priorizar técnicamente las partes de la planta, ¿cuál sería ese orden y por qué?

2. Diagnóstico operacional

- ¿Cómo es una jornada normal de operación y cuáles son las actividades que demandan más tiempo o atención del personal?
- ¿Qué situaciones obligan a modificar las condiciones normales de operación y cómo se toman esas decisiones?
- ¿Cuáles son los problemas operativos más recurrentes durante el tratamiento del agua y cómo suelen solucionarlos?
- ¿En qué etapas del proceso considera que se presentan mayores pérdidas para cumplir los objetivos de tratamiento?
- ¿En qué etapas del proceso considera que se presentan mayores dificultades para cumplir los objetivos de tratamiento?

3. Diagnóstico estructural e hidráulico

- ¿Qué estructuras de la planta presentan actualmente mayor deterioro o requieren intervenciones frecuentes y cuáles son las causas que han identificado?
- ¿Existen unidades donde se observen reboses, fugas, filtraciones o problemas de distribución del flujo? Describa cuándo y dónde ocurren.
- ¿Cómo afectan las variaciones de caudal a la operación de las diferentes unidades de la planta?
- ¿En qué zonas de la planta se han presentado problemas de sedimentación, acumulación de sólidos o zonas muertas de flujo?
- Desde su experiencia, ¿qué estructuras o elementos hidráulicos considera que limitan actualmente el desempeño de la planta y por qué?
- ¿Se han detectado puntos de cambio en el comportamiento de las corrientes de flujo, taponamientos o sobrepresiones?

4. Diagnóstico evaluación calidad del agua

- ¿Con qué frecuencia se realizan análisis de calidad del agua?
- ¿Qué acciones se implementan cuando se detectan resultados fuera de especificación?
- ¿Es posible adquirir una copia de un resultado de caracterización?
- ¿Cómo se controla el cloro residual?
- ¿Cuál es la principal dificultad para garantizar la calidad del agua?
- ¿Como revisa la calidad del agua en la etapa de distribución y entrega al usuario final?
- ¿Existen puntos de muestreo de calidad del agua a lo largo del proceso?

5. Diagnóstico administrativo y organizacional

- ¿Existe un plan de capacitación para el personal?
- ¿Se cuenta con indicadores de gestión?
- ¿Existe un plan de emergencias y contingencias?
- ¿Cuáles son las principales limitaciones administrativas de la PTAP?
- ¿Se ha realizado evaluación de la seguridad del proceso de tratamiento?

6. Diagnóstico ambiental y de sostenibilidad

- ¿La PTAP cuenta con concesión de aguas vigente?
- ¿La PTAP cuenta con permiso de vertimientos vigente?
- ¿Existe un Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA)?
- ¿Qué acciones se implementan para reducir pérdidas de agua?
- ¿Se realiza recuperación o reutilización del agua de lavado de filtros?
- ¿Existe un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) o lineamientos para el manejo de residuos?
- ¿Se realiza seguimiento al consumo de energía eléctrica?

Apéndice F. Informes de Inspección Sanitaria Gobernación 2026

República de Colombia

Gobernación de Santander

N° 001-2026

FORMATO UNICO DE INSPECCIÓN SANITARIA A LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

I. ASPECTOS GENERALES

Departamento: **SANTANDER**	Municipio: **CHARALA**	Fecha de visita: **08 DE ABRIL DE 2026**
Nombre de Autoridad Sanitaria: **SECRETARIA DE SALUD DEPARTAMENTAL- GRUPO DE GESTION EN SALUD AMBIENTAL**		
Número Consecutivo del Acta de Visita: **001-2025**	Fecha visita anterior: **14 DE MARZO DE 2025**	Se anexa copia Acta de Visita anterior: Si: No: **X**
Hubo concepto: Favorable: ____ Favorable con requerimiento: ___X___ Desfavorable: _____		Nombre de quien realizó la visita: **RICARDO DUARTE RODRIGUEZ/RAUL RAMIREZ FAJARDO**
Se establecieron plazos para la ejecución de requerimientos: Si: **X** No:	Se dispuso un plan de mejoramiento: Si: No: **X**	Número total de habitantes del municipio: **12828 (DANE)**
Número total de viviendas resto: **1326**		Número total de viviendas casco urbano: **2950**

II. PERSONA PRESTADORA (p.p.)

1. Nombre de la p.p: **UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS MUNICIPIO DE CHARALA**	2. NIT: **890205063-4**	3. Sin NIT: N.A.
4. Departamento: **SANTANDER**	5. Municipio o Distrito: **CHARALA**	/6. Localidad: N.A.
Código DANE: **68**	Código DANE: **167**	Código DANE: N.A
7. Otras **localidades** atendidas: NO ATIENDEN OTRAS LOCALIDADES		
8. Representante legal - Cargo: **JOSE WILMAR VEGA ROJAS- Alcalde Municipal; CARLOS JULIO VALDERRAMA G.- Técnico**		**Correo electrónico:** alcaldia@charala-santander.gov.co; uspdcharala-santander.gov.co

República de Colombia

Gobernación de Santander

Nº **001-2026**

Operativo		
Dirección: **Planta: Vereda Grima Baja.** **Oficina: Palacio Municipal carrera 17 No. 24-05 piso 1**	Teléfono: **3112577551; 3158223767**	9. Nombre de la planta de potabilización: **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE-PTAP DE CHARALA**
10. Caudal de diseño: **24LPS**	11. Caudal tratado actualmente: **21-23 LPS**	12. Tipo fuente de abastecimiento: **Superficiales: Quebrada La Potrera; Rio Pienta**
13. Otras plantas operadas por la P.P: N.A.		14. Suscriptores atendidos por la P.P: **3214**
15. Población atendida por la P.P: **9642**		16. Longitud total de la red de distribución: **14 KM.**

III. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RIESGO POR ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR PARTE DE LA PERSONA PRESTADORA (IRABAp.p.)	
III.1 IRABA p.p. = 100 - (IT + IC) (Art. 18 Resolución 2115 de 2007) = 100 - (puntaje calculado en III.1.1 + puntaje asignado en III.1.2)	Valor del IRABA p.p: IRABA p.p.=100- (75+20) IRABA p.p.= **10**
III.1.1 Índice de Tratamiento (IT). Para calcularlo sumar: puntaje asignado en III.1.1.1 + puntaje calculado en III.1.1.2 + puntaje asignado en III.1.1.3.	Valor del IT: IT=(50+15+10) IT=**75**
III.1.1.1 Descripción del Tratamiento. Posibles procesos: cribado, desarenación, ablandamiento, aireación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, estabilización, tratamiento de lodos, otros.	**Puntaje Asignado**
Se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo.	**50**
Se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	25
Se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo.	15
Se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	10
Sólo requiere desinfección y ésta se realiza.	50
Sólo realiza desinfección.	15
No hay ningún tipo de tratamiento.	0
III.1.1.2 Dotación Básica de Laboratorio para la realización de los siguientes ensayos:	
Tres puntos por cada uno: Equipo para Prueba de Jarras. Equipo para Demanda de Cloro. Equipo para Turbiedad. Equipo para Color aparente. Equipo para pH.	3 x 5__ = **15**
III.1.1.3 Trabajadores Certificados en las Normas Colombianas de Competencia Laboral de la Titulación 180201002 Operación de Sistemas de Potabilización de Agua – Nivel 3 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.	

República de Colombia

Gobernación de Santander

Nº 001-2026

Entre el 90% y el 100% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002		15
Entre el 50% y el 90% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002		10
Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002		0
III.1.2 Índice de Continuidad (IC): Para indagar.		Valor del IC: 20
0 – 10 HORAS/DÍA (INSUFICIENTE):	(0)	
10.1 – 18 HORAS/DÍA (NO SATISFACTORIO):	(10)	
18.1 – 23 HORAS/DÍA (SUFICIENTE):	(15)	
23.1 – 24 HORAS/DÍA (CONTINUO):	(20)	

OBSERVACIONES:

1. Si bien se realizan los tratamientos necesarios, la planta no cuenta con bomba de succión de lodos en la parte de los sedimentadores, de forma tal que permita el drenaje periódico y completo de los lodos, lo cual crea presencia de flóculos en los filtros, que disminuyen la efectividad del tratamiento.

IV. BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS (BPS) - PERSONA PRESTADORA

IV.1 Aspectos generales de la planta de tratamiento de agua para consumo humano

IV.1.1 Estado y pertinencia de las instalaciones.	Descripción de lo observado	¿Cumple las BPS? SI	P	NO	N/A
1. Vía(s) de acceso está(n) en buen estado.		0			
2. Alrededores de las instalaciones de la planta libres de obstáculos.	Se observan materiales y elementos en desuso en laboratorio, en el área de descanso de los operarios y en bodega de insumos.		1		
3. Planta tiene cerramiento.	El Cerramiento construido en alambre de púa y parte en cerca natural, presenta sectores deteriorados donde pueden eventualmente ingresar animales domésticos, lo cual fue evidenciado.		1		
4. Aseo interior eficiente.	Algunas áreas se evidencian con deficiencias de aseo y orden.		1		

República de Colombia
Gobernación de Santander

Nº 001-2026

5. Instalaciones de almacenamiento adecuadas.		0			
6. Zonas para el descanso y consumo de alimentos.	Si bien se cuenta con área, esta no está dotada con mobiliario como para el descanso. Y se utiliza para almacenar otros elementos.		1		
7. Servicios sanitarios en cantidad suficiente.		0			
8. Estado físico de las edificaciones.		0			
IV.1.2 Instrumentación de la planta de tratamiento de agua para consumo humano	**Descripción de lo observado**	**SI**	**P**	**NO**	**N/A**
1. Medición de caudal de ingreso.		0			
2. Medición de caudal de salida.		0			
3. Medición o estimación de caudal para el lavado de filtros sedimentadores o de drenajes de sedimentadores y otros consumos.	Se tiene una estimación del gasto de agua, pero no hay registro del volumen utilizado.		1		
4. Medición de niveles en los tanques.	Falta sistema para la medición del nivel del tanque de almacenamiento.		1		
5. Control para determinar el momento del lavado de filtros.	Se lleva registro en bitácora.	0			
IV.1.3 Seguridad industrial y salud ocupacional	**Descripción de lo observado**	**SI**	**P**	**NO**	**N/A**
1. Manual o protocolo de higiene y seguridad industrial.	Se cuenta con manual, pero no está debidamente implementado. Persiste situación evidenciada en la visita anterior.		1		
2. Programa de salud ocupacional.	Se encuentra en actualización y documentación.	0			
3. Señalización y demarcación de las áreas de trabajo.	Falta señalización de tanques dosificadores de insumos de tratamiento.		1		
4. Operarios visten uniformes dotados para el trabajo.		0			
5. Elementos de protección y seguridad		0			
6. Elementos de control local de emergencias.	No se cuenta con sistema de alarma en		1		

República de Colombia
Gobernación de Santander

Nº 001-2026

	caso de emergencias.				
IV.1.4 Manejo de la información y comunicaciones	**Descripción de lo observado**	**SI**	**P**	**NO**	**N/A**
1. Sistema de registro y archivo de la información.		0			
2. Reportes de autocontrol están disponibles para supervisión a cargo de la autoridad sanitaria.	No se llevan reportes ni registros de autocontrol, de forma tal que facilite el monitoreo y seguimiento de los procedimientos y evaluación de la operación, al igual que la implementación de las acciones correctivas y planes de acción para solucionar los hallazgos. Persiste			2	
3. Manuales de operación y mantenimiento.	No existe manual de operación y mantenimiento de instalaciones y equipos.			2	
4. Manual de funciones.		0			
5. Supervisión y asesoría.		0			
6. Sistema de comunicaciones.		0			
IV.1.5 Laboratorio(s) para control de procesos y calidad del agua para consumo humano distribuida	**Descripción de lo observado**	**SI**	**P**	**NO**	**N/A**
1. Brinda(n) las condiciones de localización, espacio y distribución que deben cumplirse en estas instalaciones.	Servicio contratado con Laboratorio externo: QUIMIPROYECTOS SAS, contrato No. 097 de 2026.	0			
2. Equipos de seguridad propios de estas instalaciones.	.	0			
3. Realizan todos los ensayos físicos, químicos y microbiológicos de control en la red de distribución, de acuerdo a las condiciones establecidas en el Capítulo V de la Resolución 2115 de 2007 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.		0			
4. Efectúan periódicamente la caracterización del agua cruda y su tratabilidad.		0			
5. Hacen periódicamente el control de los procesos que llevan a cabo: floculación, sedimentación, filtración, desinfección y ajuste final de pH, etc., es decir, los que procedan.		0			
6. Llevan reportes de control al día.		0			

República de Colombia

Gobernación de Santander

N° 001-2026

7. Sistema de gestión para el aseguramiento de la calidad de los resultados físicos, químicos y microbiológicos del agua para consumo humano.		0			
8. Instalaciones siguen técnicas de aseo y asepsia para los análisis.		0			
IV.2 Aspectos generales del sistema de distribución					
IV.2.1 Estado operativo del sistema de distribución	**Descripción de lo observado**	**SI**	**P**	**NO**	**N/A**
1. Planos de la red de distribución detallados.		0			
2. Red de distribución está sectorizada.	Se cuenta con 32 sectores en el municipio.	0			
3. Zonas donde existe riesgo de contaminación de la red.		0			
4. Registro estadístico de las roturas de tubería y sus causas.	Se lleva registro de atención de quejas y reclamos, pero no se tiene un análisis de indicadores de reparación de tuberías y daños en la red de conducción. Persiste situación evidenciada en la visita anterior.		1		
5. Válvulas, purgas e hidrantes para drenar el agua de las tuberías están operables.		0			
6. Equipos y accesorios mínimos para el control de operación de la red.		0			
7. Red de distribución está instrumentada.		0			
IV.2.2 Mantenimiento de la red de distribución	**Descripción de lo observado**	**SI**	**P**	**NO**	**N/A**
1. Personal encargado de la operación y mantenimiento de la red de distribución está certificado en sus competencias laborales.	El personal encargado de la operación y mantenimiento de la red de distribución no están certificados en sus competencias laborales.		1		
2. Equipos y materiales apropiados para labores de mantenimiento.			1		
3. Equipos para detección de fugas no visibles.		0			
4. Fugas y daños son atendidos oportunamente.		0			
5. Procedimientos para reparación de daños de tuberías y accesorios que eviten la contaminación hacia el interior de éstos.		0			



República de Colombia

Gobernación de Santander

Nº 001-2026

IV.2.3 Control de calidad del agua distribuida.	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Tanques y otras estructuras del sistema de distribución se limpian y desinfectan periódicamente.	Se evidencia tanque de almacenamiento y distribución, con superficies en cemento no liso que dificultan las labores de limpieza y desinfección.		1		
2. Dispositivos para toma de muestras de agua en la red de distribución.		0			
3. Quejas sobre mala calidad del agua se atienden oportunamente.		0			
4. Toma, preservación y transporte de muestras se hace de acuerdo al Manual de Instrucciones del Instituto Nacional de Salud - INS.		0			
5. Equipos portátiles para la toma de cloro residual y pH.		0			

IV.3 CALIFICACIÓN PARA LA PERSONA PRESTADORA POR BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS - BPS: Sumar los valores de las columnas P y NO y anotarlo	17 puntos

Observaciones:

1. Cumplir los requerimientos contemplados en la columna "Descripción de lo observado", de aquellos ítems calificados con 1 y 2.
2. No se cuenta con extintores vigentes en las áreas de laboratorio y bodega

Nombre y cargo del(os) funcionario(s) de la autoridad sanitaria que diligenció(aron) el formulario in situ.	Firma	Fecha
RAUL RAMIREZ FAJARDO-Técnico Operativo Grupo De Salud Ambiental		**08 DE ABRIL DE 2026**
RICARDO DUARTE RODRIGUEZ- Profesional Universitario Grupo de Salud Ambiental		**08 DE ABRIL DE 2026**
Personas de la planta de tratamiento de agua para consumo humano que atendieron la visita – Cargos.	Firma	Fecha constancia de la visita
CARLOS JULIO VALDERRAMA – Técnico Operativo USPD		**08 DE ABRIL DE 2026**

Para los informes de Inspección Sanitaria de la Gobernación del año 2024 y 2025 visite el siguiente enlace: Informes Inspección Sanitaria Gobernación.

Apéndice G. Sistematización y análisis de los registros de calidad del agua

En el presente apéndice se presenta la sistematización y análisis de los registros disponibles correspondientes a los meses de abril, mayo y junio de 2026, utilizados para la construcción del diagnóstico de calidad del agua. El archivo completo con los registros sistematizados puede ser consultado mediante el siguiente enlace: Sistematizacion Registros Calidad del Agua.xlsx

Página	Fecha	Hora	Tipo de agua	Caudal (L/s)	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	pH	Alcalinidad (mg/L)	Cloro total (mg/L)
1	01/04/2026	12:00	Cruda	36	117	500	6,8	25	
1	01/04/2026	3:00	Cruda	36	68	500	6,8	30	
1	01/04/2026	6:00	Cruda	36	30,4	321	6,8	30	
1	01/04/2026	6:00	Tratada	36	1,57	0	7	30	
2	05/04/2026	17:00	Cruda	23	1,48	500	7	40	
2	05/04/2026	20:00	Cruda	23	1,7	500	6,8	30	
2	05/04/2026	17:00	Tratada	23	0,6	0	6,9	30	1,28
3	07/04/2026	09:00	Cruda	22	9,16	117	6,9	30	
3	07/04/2026	12:00	Cruda	22	9,09	104	7	30	
3	07/04/2026	15:00	Cruda	20	8,83	98	7,2	40	
3	07/04/2026	09:00	Tratada	22	2,36	29	6	30	
3	07/04/2026	12:00	Tratada	22	2,41	22	6,5	30	
3	07/04/2026	15:00	Tratada	22	2,24	18	6,5	30	
4	07/04/2026	16:30	Cruda	23	8,22	87	7	30	
4	07/04/2026	20:00	Cruda	23	10,4	100	7,4	30	
4	07/04/2026	22:00	Cruda	23	10,3	107	7	30	
4	07/04/2026	16:30	Tratada	23	3,41	24	6,5	30	
4	07/04/2026	20:00	Tratada	23	3,18	20	7,2	30	
4	07/04/2026	22:00	Tratada	23	2,16	10	6,9	30	
5	08/04/2026	17:00	Cruda	23	7,21	98	7,7	40	
5	08/04/2026	20:00	Cruda	23	11,2	109	7,6	40	
5	08/04/2026	22:00	Cruda	23	12,3	136	7,8	40	
5	08/04/2026	17:00	Tratada	23	2,91	19	6,8	30	1,93
5	08/04/2026	20:00	Tratada	23	2,03	10	6,8	30	
5	08/04/2026	22:00	Tratada	23	1,56	3	7	30	
6	09/04/2026	00:00	Cruda	23	11,8	113	7,5	40	
6	09/04/2026	03:00	Cruda	23	10,1	110	7,5	40	
6	09/04/2026	06:00	Cruda	23	9,21	107	7,4	40	
6	09/04/2026	00:00	Tratada	23	1,02	0	7	30	
6	09/04/2026	2:00	Tratada	23	0,75	0	7	30	

Apéndice H. Descripción de la PTAP Charalá

La planta de tratamiento de agua potable de Charalá cuenta con dos fuentes superficiales: la quebrada la Potrera, utilizada como fuente principal, y el rio Pienta, empleado como fuente alterna mediante un sistema de bombeo durante los periodos en los que el caudal disponible de la fuente principal no resulta suficiente. En la Figura H1 se presenta la vista general de las instalaciones que conforman la PTAP de Charalá.

Figura H1

Vista general de las instalaciones de la PTAP

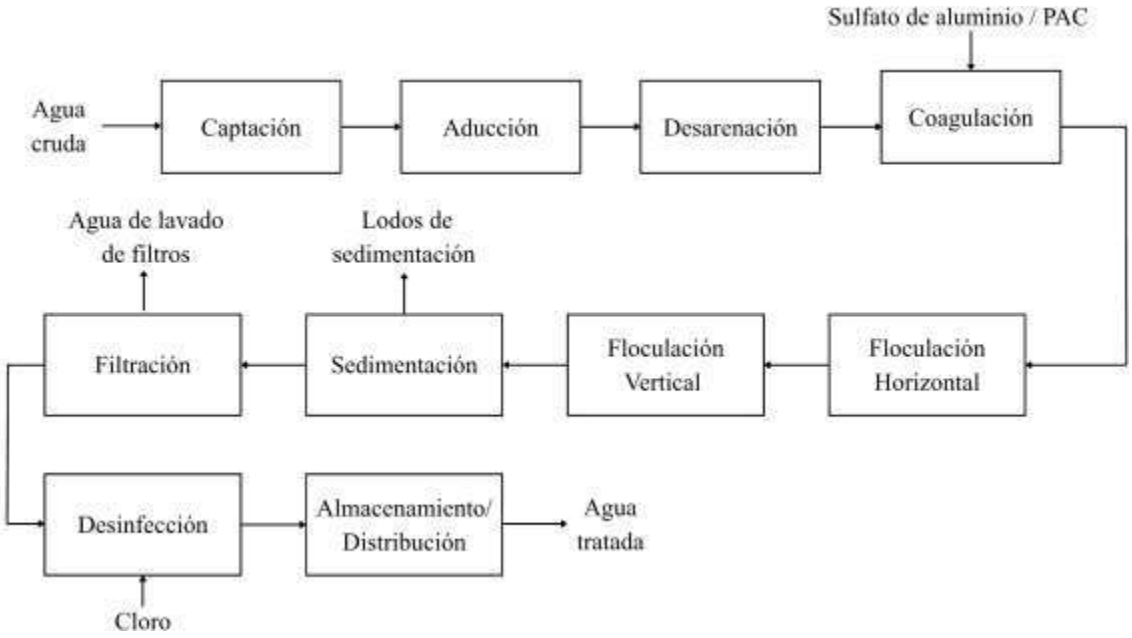


La planta original fue construida en el año 1978 bajo un esquema convencional de tratamiento, con un sistema de floculación de tipo horizontal. En el año 2023 se realizó una intervención sobre la planta con el propósito de modificar y ampliar su configuración, incluyendo floculadores verticales, con el propósito de incrementar la capacidad de tratamiento y acelerar el proceso de potabilización. Esta intervención no fue completada, por lo que actualmente la planta cuenta con unidades de la configuración convencional como las de la modificación implementada (Andrés Camilo Páez Arenas y Catalina Alejandra Lizarazo González,2026).

La planta cuenta con cuatro operadores que desarrollan sus actividades mediante tres turnos de ocho horas. Esto permite mantener presencia permanente del personal en las instalaciones de la planta. El proceso de tratamiento se esquematiza en el diagrama mostrado en la Figura 2. Allí se observa que el proceso de tratamiento de la planta comprende las etapas de captación, aducción, desarenación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Figura H2

Diagrama del proceso de tratamiento del agua en la PTAP



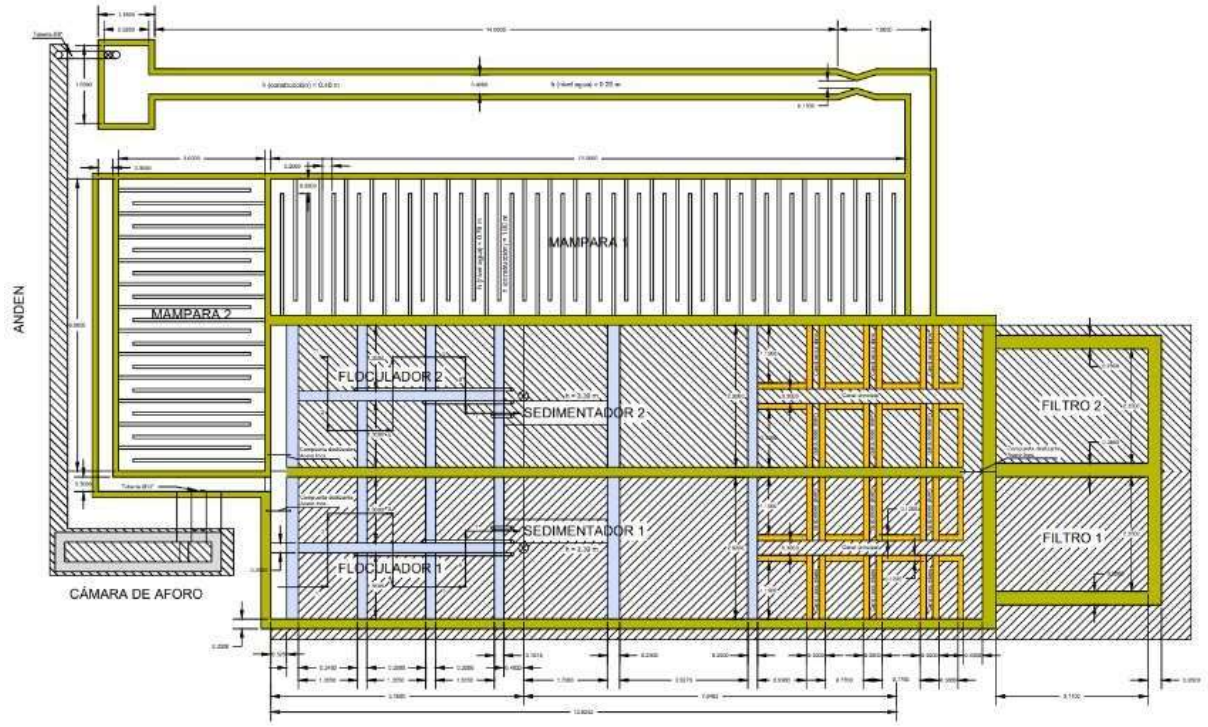
Apéndice I. Registros fotográficos





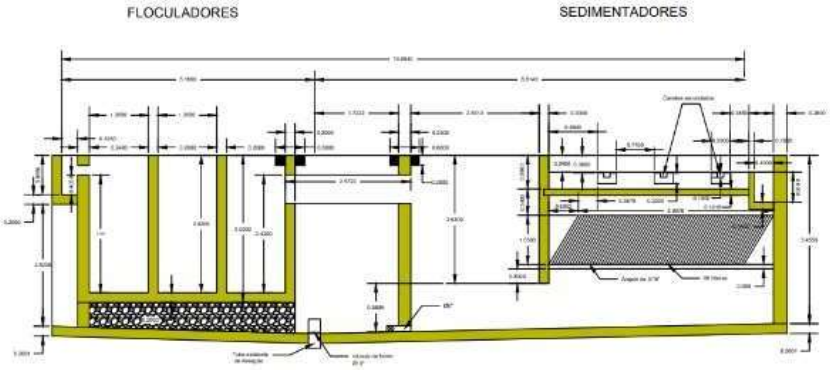



Apéndice J. Planos de la PTAP



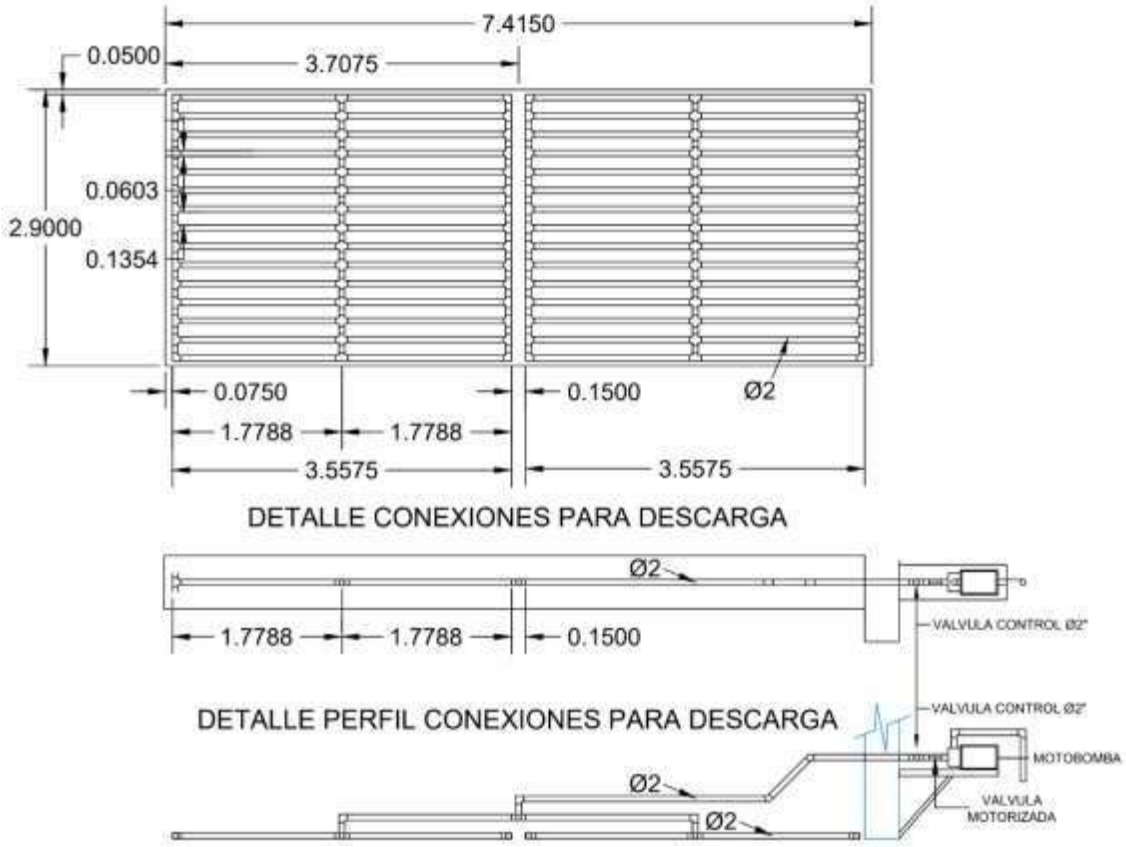
PLANTA GENERAL PTAP

ESCALA 1:50



PERFIL GENERAL PTAP (Proyectado)

ESCALA 1:50


7.4150
0.0500
3.7075
0.0603
2.9000
0.1354
0.0750
0.1500
Ø2
1.7788
1.7788
3.5575
3.5575
DETALLE CONEXIONES PARA DESCARGA
Ø2
1.7788
1.7788
0.1500
VALVULA CONTROL Ø2"
VALVULA CONTROL Ø2"
DETALLE PERFIL CONEXIONES PARA DESCARGA
MOTOBOMBA
Ø2
VALVULA
MOTORIZADA
Ø2

Apéndice K. Resumen del diagnóstico de la PTAP Charalá

Diagnóstico	Criterio	Condición requerida	Condición encontrada
Técnico	Configuración de las unidades	Configuración definida y funcional de las unidades de tratamiento	Coexistencia de elementos de la configuración convencional y compacto debido a una modificación de 2023 no culminada
	Manejo de sólidos	Extracción y evacuación adecuada de los sólidos acumulados	Acumulación de sólidos y evacuación mediante purgas; el sedimentador modificado no cuenta con sistema específico de extracción de lodos
	Funcionamiento de la filtración	Retención adecuada del material suspendido	Presencia de flóculos y material suspendido después de la filtración
	Funcionamiento de los filtros	Paso adecuado del agua a través de la unidad	Se reportan obstrucciones identificadas mediante disminución del caudal
	Disponibilidad de equipos de dosificación	Equipos disponibles y funcionales	Dosificador de cloro gaseoso fuera de servicio; se utiliza cloro granulado como alternativa, lo que limita el control sobre la cantidad de cloro aplicada y hace que el ajuste dependa en mayor medida de la intervención del operador.
Operacional	Capacidad de respuesta ante variaciones	La operación debe permitir realizar ajustes frente a cambios en las características del agua	Los operadores realizan ajustes de acuerdo con las variaciones observadas en parámetros como pH, turbiedad y color de forma empírica, sin una guía técnica clara.
	Control de niveles de almacenamiento	Deben existir mecanismos que permitan medir y realizar seguimiento a los niveles de agua tratada almacenada.	La PTAP no realiza una medición precisa y continua de los niveles de agua tratada almacenada.
	Manual de operación y mantenimiento	Deben existir procedimientos documentados que orienten las actividades de operación de los equipos.	La PTAP no cuenta con un manual de operación.
	Registro y seguimiento de la operación	La información operacional debe registrarse y permitir su seguimiento.	Existen registros físicos, pero la información no se encuentra completamente sistematizada.
	Coagulación	El proceso debe permitir la formación de flóculos con características adecuadas.	Se presenta formación de micro – flóculos o "pin – point floc" que no alcanzan una sedimentación adecuada.
	Seguimiento de la dosificación	La información registrada debe permitir analizar y hacer	Los registros no se encuentran completamente sistematizados, lo que limita llevar un historial.

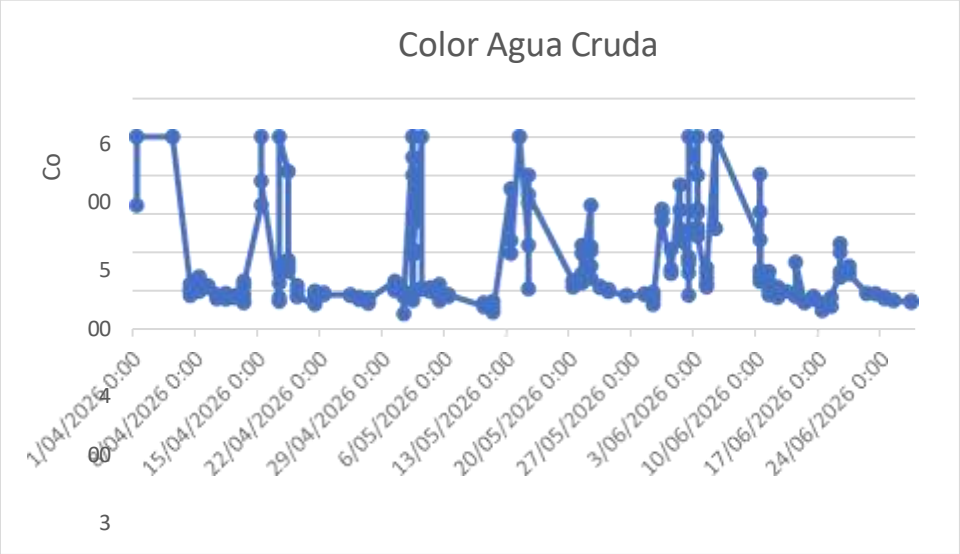
		seguimiento a las condiciones de aplicación	
	Número de operadores	Personal suficiente para garantizar la operación	Se cuenta con dos operadores por turno
	Continuidad de la operación	Presencia de personal durante la operación de la planta	La operación se desarrolla mediante turnos de tal forma que la planta cuente con personal las 24 horas.
	Formación del personal	Operadores con formación relacionada con la operación de sistemas de potabilización	Se evidencia formación personal mediante la entrevista
	Información entre turnos	Seguimiento de las condiciones de la planta al recibir y entregar el turno	Se realizan controles entre turnos y son registrados en planillas.
	Gestión del conocimiento	Procedimientos que permitan estandarizar el conocimiento operacional	Existe una importante dependencia de la experiencia del personal.
	Mantenimiento preventivo	Implementación de actividades preventivas	No se ejecutan actividades preventivas
	Mantenimiento correctivo	Atención de fallas o condiciones que afectan la operación	Se realizan intervenciones cuando las condiciones operativas requieren atención
	Registro de mantenimiento	Existencia de registros que permitan realizar seguimiento a las intervenciones	Se evidencia una debilidad en la documentación y seguimiento de las actividades
Hidráulico	Capacidad de conducción	La conducción debe permitir transportar los caudales de operación sin generar restricciones hidráulicas.	La conducción entre el desarenador y la PTAP, de 6 in, presenta menor capacidad que el tramo anterior. A 27–28 L/s se identifican las principales dificultades reportadas y se incrementan las pérdidas de carga.
	Floculación	Tiempo de retención hidráulica de 20–40 min para floculación convencional.	Entre 24 y 28 L/s se obtienen tiempos de 38,6 a 33,1 min, dentro del intervalo de referencia. A 20 L/s se obtienen 46,3 min, superando el rango.
	Sedimentación	Tiempo de retención hidráulica de 2–4 h para sedimentación convencional.	Los tiempos calculados se encuentran entre 0,50 y 0,70 h, por debajo del intervalo de referencia. Esto representa un tiempo de permanencia reducido para la sedimentación y se acentúa al aumentar el caudal.
	Acumulación de sólidos	La carga de sólidos debe ser compatible con la capacidad de separación y manejo de las unidades.	Se evidencia acumulación de sólidos en los sedimentadores. Debido a la ausencia de mediciones de SST, su magnitud se estimó de manera aproximada a partir de los registros de turbiedad y referencias técnicas.

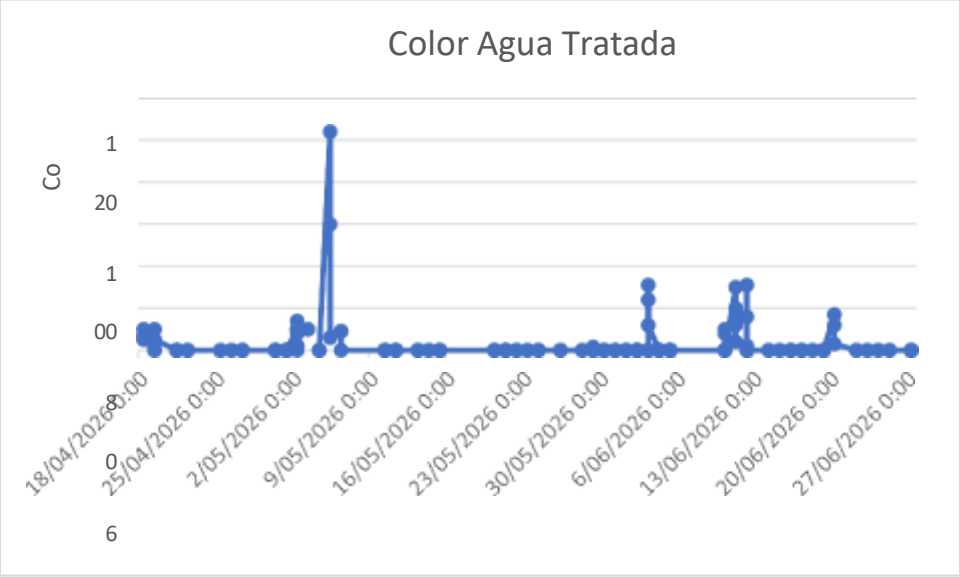
Calidad del agua	Control de coagulación	Disponer de medios para realizar pruebas de control, incluyendo la prueba de jarras.	La PTAP cuenta con prueba de jarras y esta es utilizada como apoyo para determinar las condiciones de coagulación.
	Control de floculación	Realizar control periódico de la floculación como parte del seguimiento del tratamiento.	Ante cambios en la formación del floc, se revisa variables como ph y alcalinidad.
	Control de sedimentación	Realizar control periódico de la sedimentación dentro del proceso de tratamiento.	Debe fortalecerse los controles y registros del comportamiento de esta etapa.
	Control de filtración	Realizar control periódico de la filtración como parte del seguimiento del proceso.	Se realiza seguimiento de la calidad del agua y actividades operativas asociadas a los filtros.
	Control de desinfección	Realizar control periódico de la desinfección	Se realizan mediciones de cloro en el agua potable.
	Control de parámetros básicos	Contar con medios para controlar turbiedad, color, pH y cloro,	En la PTAP se realizan mediciones de turbiedad, color, pH y cloro, utilizadas por los operadores para el seguimiento de la operación.
Administrativo y organizacional	Formación del personal	Personal con competencias para desarrollar sus funciones	Operadores certificados por el SENA como potabilizadores de agua
	Distribución del conocimiento	Conocimiento disponible entre el equipo de trabajo	Las situaciones complejas dependen principalmente del personal de mayor experiencia
	Capacitación	Formación planificada y con seguimiento	Acompañamiento e instrucción directa, sin plan formal ni registros
	Seguimiento de la gestión	Mecanismos internos para evaluar el desempeño	No se identificaron indicadores internos de gestión
	Resultado externo	Seguimiento de la calidad del servicio	Evolución favorable del IRCA reportado por la Gobernación
	Recursos de funcionamiento	Recursos suficientes para cubrir gastos corrientes	El recaudo permite cubrir nómina e insumos de potabilización
	Autonomía sobre infraestructura	Capacidad para gestionar las necesidades de infraestructura	Las inversiones dependen de la gestión y presupuesto municipal
	Protección del personal	Disponibilidad de elementos de protección	Se suministra dotación y EPP
	Gestión de riesgos laborales	Identificación, prevención y seguimiento de riesgos	Falta de inspecciones periódicas, señalización, demarcación y seguimiento al uso de EPP
	Gestión de SST	Sistema de gestión estructurado	En proceso de contratación para su estructuración

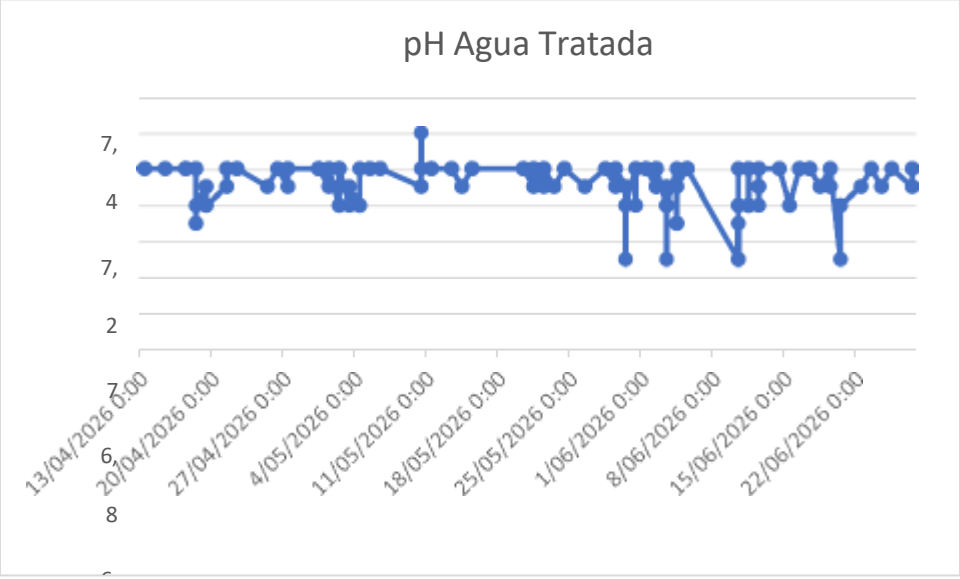
Ambiental y de sostenibilidad	Cuantificación de purgas	La medición de los consumos asociados a drenajes debe contribuir al balance de agua.	No es posible establecer con precisión los volúmenes de purga asociados a los sedimentadores.
	Gestión ambiental del residuo	Los lodos generados durante el tratamiento deben ser considerados dentro de la gestión de residuos del sistema.	No se dispone de información suficiente para establecer una cuantificación periódica y completa de los lodos generados y su manejo posterior.
	Medición de consumos internos	Se deben medir utilizados en el lavado de filtros, sedimentadores, drenajes y otros consumos para completar el balance de agua.	Los volúmenes de agua utilizados en las actividades de lavado no se miden directamente y se manejan mediante aproximaciones.
	Lavado de filtros	El lavado de filtros debe hacer parte del control y mantenimiento de las unidades de tratamiento.	Los filtros se lavan mediante agua a contracorriente; sin embargo, no se dispone de medición directa del volumen utilizado.
	Uso eficiente del agua	La información de los consumos debe permitir analizar el comportamiento del recurso y apoyar la gestión de la planta.	La ausencia de registros limita la evaluación del consumo y la identificación de oportunidades de reducción.
	Medición del caudal de entrada	La planta debe disponer de mecanismos para medir el caudal de aducción.	Se reporta medición del caudal de entrada.
	Medición del caudal de salida	Debe medirse el caudal de agua tratada que sale de la planta,	Se reporta medición del caudal de salida.
	Control del lavado de filtros	Deben existir criterios para determinar el momento del lavado, considerando pérdidas, turbiedad y/o duración.	Se reporta que el momento de lavado de los filtros se registra en las planillas.
	Optimización del recurso	La información de consumo debe utilizarse para oportunidades de manejo eficiente del agua, cuando sea técnica y ambientalmente viable.	No hay registros históricos completos para implementar estrategias de mejora del balance de agua.
	Separación de residuos	Contar con criterios para la separación de los residuos de acuerdo con sus características.	El operador indica que se realiza la separación de los residuos; pero, esta práctica no se encuentra formalizada en un documento oficial.
	Manejo de residuos	Disponer de procedimientos definidos para el manejo interno de los residuos generados en las diferentes actividades de la planta.	Se realizan actividades de manejo de residuos de acuerdo con las prácticas establecidas por los operadores, pero no se cuenta con un sistema o documento específico que las formalice.
	Sistema de gestión de residuos	Contar con un documento o sistema que consolide los procedimientos, responsables, actividades y mecanismos de seguimiento relacionados con la gestión de residuos.	No se cuenta con un sistema o documento oficial de gestión de residuos específico para la PTAP.

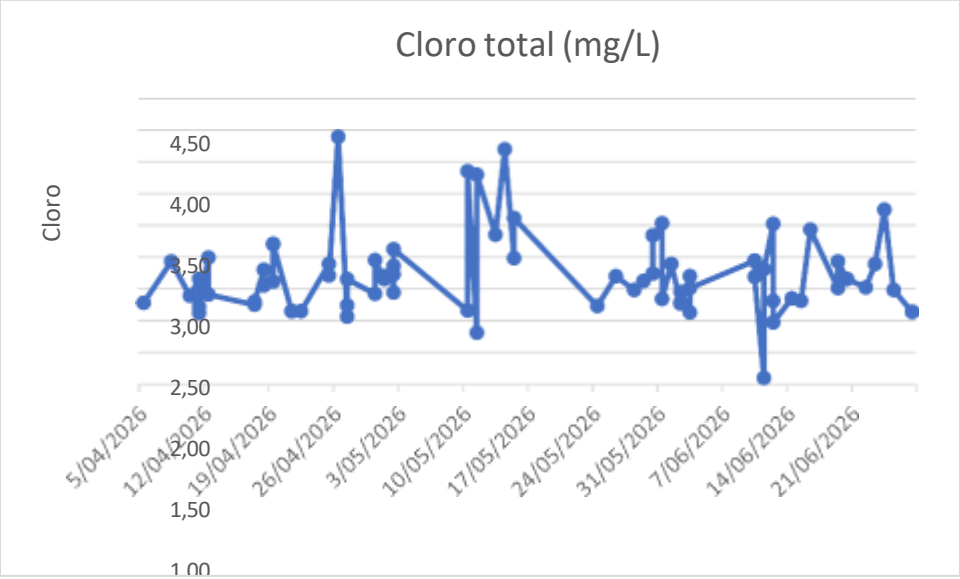
	Organización de materiales en desuso	Retirar y gestionar los materiales que hayan dejado de ser utilizados, evitando su acumulación en las áreas de la planta.	Se evidenciaron materiales y elementos en desuso en el laboratorio.

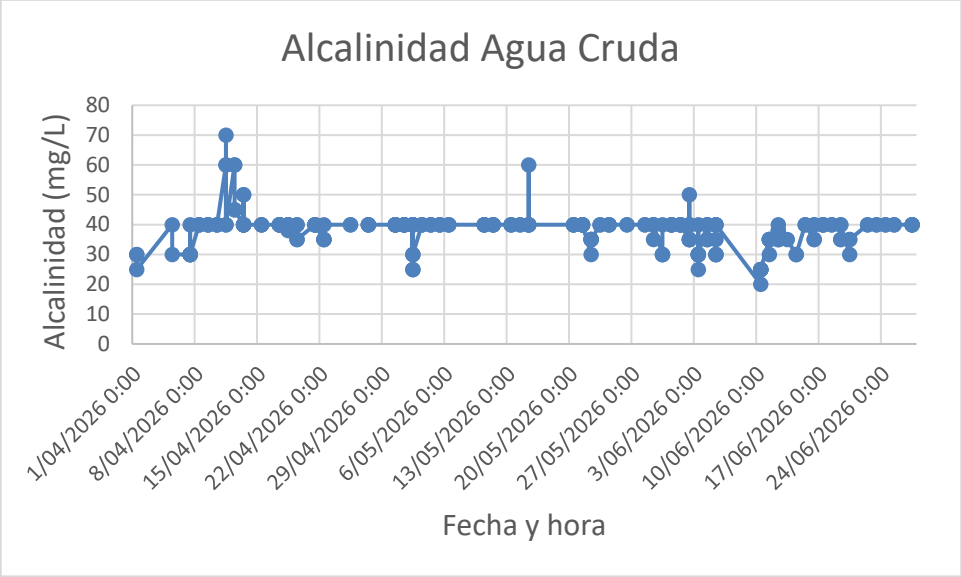
Apéndice L. Graficas del comportamiento de los parámetros de calidad del agua

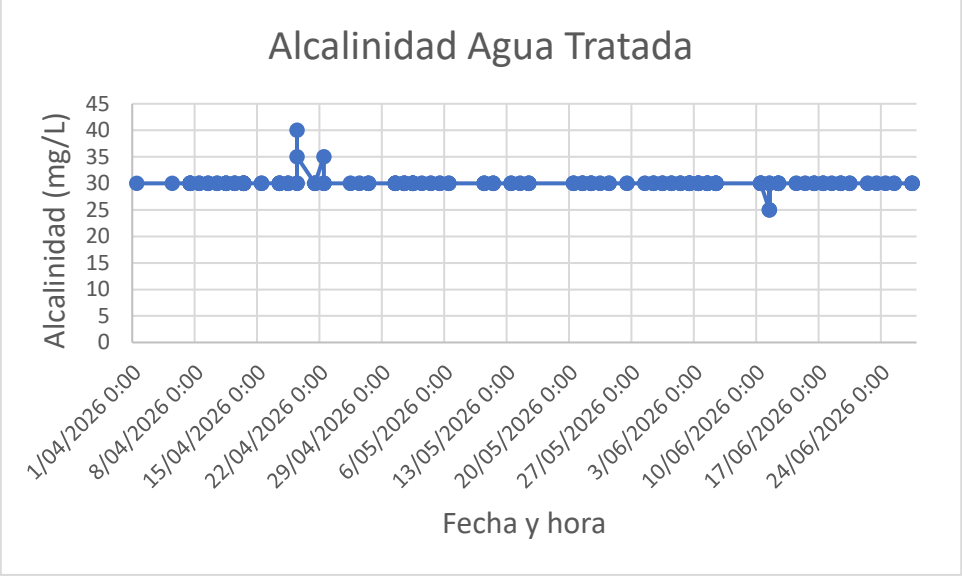





pH Agua Tratada
7,
4
7,
2
7
6
8
13/04/2026 0:00
20/04/2026 0:00
27/04/2026 0:00
4/05/2026 0:00
11/05/2026 0:00
18/05/2026 0:00
25/05/2026 0:00
1/06/2026 0:00
8/06/2026 0:00
15/06/2026 0:00
22/06/2026 0:00


Cloro total (mg/L)
Cloro
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
5/04/2026
12/04/2026
19/04/2026
26/04/2026
3/05/2026
10/05/2026
17/05/2026
24/05/2026
31/05/2026
7/06/2026
14/06/2026
21/06/2026


Alcalinidad Agua Cruda
Alcalinidad (mg/L)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1/04/2026 0:00
8/04/2026 0:00
15/04/2026 0:00
22/04/2026 0:00
29/04/2026 0:00
6/05/2026 0:00
13/05/2026 0:00
20/05/2026 0:00
27/05/2026 0:00
3/06/2026 0:00
10/06/2026 0:00
17/06/2026 0:00
24/06/2026 0:00
Fecha y hora


Alcalinidad Agua Tratada
Alcalinidad (mg/L)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1/04/2026 0:00
8/04/2026 0:00
15/04/2026 0:00
22/04/2026 0:00
29/04/2026 0:00
6/05/2026 0:00
13/05/2026 0:00
20/05/2026 0:00
27/05/2026 0:00
3/06/2026 0:00
10/06/2026 0:00
17/06/2026 0:00
24/06/2026 0:00
Fecha y hora

Apéndice M. Resumen de la formulación de estrategias para la PTAP Charalá

Diagnóstico	Hallazgo	Propuesta de mejora
Técnico	Extracción de lodos mediante purgas.	Implementar un sistema de extracción de lodos mediante succión y bombeo intermitente, definiendo los puntos de extracción y las condiciones de operación de acuerdo con la caracterización de los lodos.
	Deficiencias en la filtración.	Verificar el estado del medio filtrante y, de ser necesario, renovar el lecho y verificar las condiciones del sistema de drenaje y distribución.
	Dosificador de cloro fuera de servicio.	Rehabilitar o reemplazar el dosificador, verificando la relación entre caudal y dosificación y realizando seguimiento al cloro residual.
	Fallas en check y valvulas.	Verificar el estado y tiempo de servicio de los componentes, reemplazar los elementos deteriorados y ajustar las especificaciones de los materiales cuando sea necesario.
Operacional	Ausencia de manual de operación	Elaborar y estructurar un manual de operación que establezca procedimientos, parámetros de control, frecuencias de seguimiento y acciones ante desviaciones.
	Ajustes operativos realizados de forma empírica.	Estandarización de criterios de respuesta ante variaciones de la calidad del agua, mediante procedimientos que orienten la toma de decisiones durante cambios en turbiedad, color, pH y otras variables.
	Registros físicos no sistematizados.	Sistematización y fortalecimiento de los registros operacionales, mediante una herramienta digital que permita organizar, consultar y analizar las variables del proceso, dosis, novedades y acciones realizadas.
	Ausencia de medición precisa y continua de los niveles de agua tratada.	Implementación de un sistema de seguimiento de los niveles de almacenamiento, evaluando alternativas como medición manual, indicadores mecánicos o visuales, sensores electrónicos, sensores ultrasónicos o sistemas de telemetría, de acuerdo con las características de los tanques.
	Formación de microflóculos con sedimentación inadecuada.	Optimización de las condiciones de coagulación y floculación, evaluando dosis, mezcla rápida, condiciones de floculación, características del flóculo y comportamiento durante la sedimentación.
	Diferencia entre la capacitación recibida y las situaciones enfrentadas durante la operación.	Programa de capacitación y actualización del personal, orientado a fortalecer conocimientos técnicos y criterios para responder ante situaciones operativas.
	Información de los cambios de turno registrada principalmente en medios físicos.	Estandarización de la entrega y recepción de turnos, mediante un formato que consolide condiciones de la planta, parámetros, dosis, novedades y actividades pendientes.
	Dependencia del conocimiento adquirido mediante la experiencia de los operadores.	Gestión y transferencia del conocimiento operacional, mediante la identificación, documentación y revisión de las prácticas utilizadas por los operadores para incorporarlas, cuando sean pertinentes, al Manual de Operación y Mantenimiento.

Hidráulico	Limitación de la conducción de 6" a caudales altos.	Reemplazar la tubería de 6" por una conducción de 8", previa verificación mediante el cálculo hidráulico de la capacidad de conducción, considerando el caudal de diseño, la longitud y las características de la tubería.
	Tiempos de retención adecuados entre 24 y 28 L/s.	Mantener el caudal de operación dentro de un rango que permita conservar tiempos de retención adecuados y evitar tiempos excesivos de permanencia asociados a caudales bajos.
	Tiempos de retención inferiores al intervalo de referencia para sedimentadores convencionales.	Evaluar la incorporación de módulos de sedimentación de alta tasa mediante placas o tubos inclinados, con el propósito de aumentar el área efectiva de sedimentación sin requerir una ampliación convencional de los tanques.
	Acumulación de sólidos y ausencia de mediciones directas de SST.	Implementar un monitoreo periódico de SST en el agua cruda para establecer una relación propia entre SST y turbiedad y mejorar progresivamente la estimación de la carga de sólidos que ingresa al tratamiento.
Calidad del agua	Variabilidad en parámetros de turbiedad y color	Fortalecimiento de la caracterización y seguimiento del agua cruda, incorporando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, variabilidad climática y relación con el desempeño del tratamiento.
	Caracterización limitada frente a las condiciones de la fuente superficial.	Ampliación del esquema de caracterización del agua cruda, tomando como referencia los parámetros establecidos para fuentes superficiales y considerando períodos secos y lluviosos.
	Dependencia de la experiencia del operador para ajustar la coagulación.	Estandarización de las pruebas de jarras y ajuste de dosis, definiendo frecuencia, variables, dosis evaluadas, criterios de selección y acciones ante cambios en la calidad del agua.
	Control y registros insuficientes del comportamiento de la sedimentación	Fortalecimiento del seguimiento de la sedimentación, mediante registros de las condiciones de operación y de la calidad del agua a la salida de la unidad.
	Variabilidad en la calidad del agua a la salida de la filtración.	Fortalecimiento del control de la filtración, mediante seguimiento de turbiedad, comportamiento de los filtros y condiciones de lavado.
	Variabilidad en la concentración de cloro registrada.	Fortalecimiento del control de la desinfección, incorporando el seguimiento del cloro residual libre y evaluando alternativas para el sistema de dosificación
	Seguimiento insuficiente de parámetros frente a los criterios de agua para consumo humano.	Implementación de un esquema integral de control de calidad del agua tratada, con puntos de muestreo, parámetros, frecuencia, responsables, valores de referencia y acciones ante desviaciones.
Administrativo y organizacional	Concentración del conocimiento.	Establecer un mecanismo interno para recopilar, organizar y documentar los conocimientos, procedimientos y criterios de actuación adquiridos por el personal con mayor experiencia, facilitando su consulta y transferencia entre los operadores.
	Capacitación no formalizada.	Estructurar un programa periódico de capacitación que defina los temas prioritarios, responsables, frecuencia y mecanismos de registro, de acuerdo con las necesidades identificadas en la planta.

	Ausencia de indicadores internos.	Establecer un sistema básico de seguimiento mediante indicadores relacionados con consumo de insumos, mantenimiento, capacitación y cumplimiento de actividades, con revisión periódica de sus resultados.
	Dependencia municipal para inversiones.	Implementar un registro consolidado de las necesidades de mantenimiento, reparación y adecuación de la infraestructura, incorporando su prioridad, requerimiento y estado de gestión para facilitar su presentación y seguimiento ante la administración municipal.
	Gestión de SST incompleta.	Consolidar la implementación del Sistema de Gestión de SST mediante inspecciones periódicas de las áreas operativas, señalización y demarcación de las zonas de trabajo y seguimiento al uso adecuado de los elementos de protección personal.
Ambiental y de sostenibilidad	Acumulación de sólidos y dificultad para cuantificar los lodos generados.	Implementación de un esquema de cuantificación y seguimiento de lodos, mediante mediciones de volumen y, cuando sea técnicamente viable, caracterización mediante parámetros como SST, para establecer la generación y facilitar su manejo posterior.
	Ausencia de medición directa de los volúmenes utilizados en lavado.	Implementación de mecanismos de medición o estimación controlada de los caudales de lavado, diferenciando los consumos asociados al lavado de filtros, sedimentadores, tanques y demás actividades de limpieza.
	Balance de agua limitado por la falta de registros de consumos internos	Fortalecimiento del balance hídrico de la PTAP, incorporando caudal de entrada, agua producida, agua utilizada en lavados, drenajes y demás consumos internos, mediante registros periódicos.
	Consumos internos estimados mediante aproximaciones.	Implementación de un esquema de seguimiento del uso eficiente del agua, con indicadores que permitan comparar los consumos de lavado y mantenimiento, identificar variaciones y establecer oportunidades de reducción.
	Consumo de agua de lavado sin medición directa.	Fortalecimiento del control del agua utilizada en el retrolavado, mediante el registro del volumen o caudal empleado y de la frecuencia de lavado, relacionándolo con las condiciones de operación de los filtros.
	Ausencia de un sistema formal de gestión de residuos.	Estructuración de un sistema de gestión de residuos para la PTAP, que documente la separación, almacenamiento, manejo, entrega y disposición de los residuos generados.
	Falta de documentación y trazabilidad del manejo de residuos potencialmente peligrosos.	Fortalecimiento de la gestión de residuos asociados a productos químicos y laboratorio, mediante identificación, clasificación, almacenamiento, registro de cantidades generadas y entrega a gestores autorizados cuando corresponda.
	Presencia de materiales y elementos en desuso en el laboratorio.	Implementación de un procedimiento para la identificación, clasificación y disposición de materiales en desuso, incorporándolo al sistema de gestión de residuos de la planta.
	Prácticas de manejo de residuos existentes, pero sin formalización documental.	Formalización de las prácticas ambientales existentes, mediante procedimientos y registros que permitan demostrar su aplicación y realizar seguimiento periódico.